#نه_به_تبعیض_در_المپیاد_با_لیپازبوک

برای اولین بار
جلد اول بیولوژی عمومی کمپبل
« رایگان»
تهیه و تنظیم : لیپاز بوک

@lipasebook
@lipasebookbot

مقدمه لیپاز بوک : در چند سال اخیر شاهد رقابت شدید در المپیاد بوده ایم . بسیاری از دانش آموزان مستعد به دلیل پاره ای از مشکلات از این رقابت ناخواسته عقب مانده اند . در پروژه
#نه_به_تبعیض_در_المپیاد_با_لیپازبوک سعی در کمک در عدم رخداد این قضیه را داریم . ما را دنبال کنید و منتظر کتب بعدی نیز باشید .
گروه لیپاز بوک

Biology
Campbell

کتاب مرجع

# بیولوژی کمپبل

ویرایش نهم - ۲۰۱۱



# 1 The Chemistry Of Life
## شیمی حیات


ریس • اوری • گاین
واسرمن • مینورسگای • جکسون




ترجمه:
خانه زیست شناسی

# پروفسور نیل کمپبل

(Neil A.Campbell)



پروفسور نیل آ. کمپبل، نویسندهٔ کتاب معروف "Biology" و محقق برجستهٔ دانشگاه کالیفرنیا، در ۲۱ اکتبر ۲۰۰۴ در بیمارستان "Redland" پس از تحمل رنج حاصل از نارسایی قلبی، درگذشت. وی در هنگام مرگ ۵۸ سال داشت. پروفسور کمپبل دکترایش را در شاخهٔ علوم گیاهی و در سال ۱۹۷۵ از دانشگاه کالیفرنیا دریافت کرد. وی سپس در کالج Pomona، دانشگاه Cornell و نیز کالج San Bernardino مشغول به تدریس شد تا اینکه در سال ۱۹۸۹ به گروه زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا پیوست. وی در تمامی این دانشگاهها و دانشکده‌ها به عنوان متخصص در آموزش زیست‌شناسی مشغول به فعالیت بود.

دکتر جودی هالت، پروفسور و رئیس دپارتمان علوم گیاهی دانشگاه کالیفرنیا می‌گوید: ***«دکتر کمپبل با بسیاری از دانشمندان و بزرگان زمان ما دوست بود. وی حامی سخاوتمندی برای کارکنان، دانشجویان و دپارتمان علوم گیاهی بود».*** مهارت تألیف و ایثار و از خودگذشتگی دکتر کمپبل در آموزش زیست‌شناسی، بر معروفیت گروه زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا افزود.

دکتر کمپبل یقیناً به خاطر نوشتن کتاب‌های معروف Biology در سطح بین‌المللی مشهور است. به گفتهٔ پیرسون و بنجامین کامینگز، ناشران کتاب‌های کمپبل، از زمان معرفی کتاب Biology در سال ۱۹۸۷، در حدود ۷۰٪ زیست‌شناسان، پزشکان، بیوتکنولوژیست‌ها و در حدود ۱۰۰٪ از معلمان زیست‌شناسی زیر ۴۰ سال، کتاب Biology را به عنوان کتاب درسی خود انتخاب کرده‌اند. در بخش دانش‌آموزی نیز تخمین زده می‌شود که هر ساله بیش از نیم میلیون دانش‌آموز در سراسر جهان از کتاب Biology کمپبل استفاده کنند.

دکتر آنتونی هانگ، پروفسور زیست‌شناسی مولکولی و سلول گیاهی در دپارتمان زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا، در مورد تأثیر پروفسور کمپبل بر حوزهٔ زیست‌شناسی و آموزش علوم زیستی می‌گوید:

***«کتاب‌هایش چنان معروفند که ماه گذشته، زمانی که برای شرکت در سمیناری در تایوان بودم،*** سه ویرایش چینی ***مختلف ازکتاب‌هایش را دیدم. هر جا که می‌روم، وقتی می‌گویم از دانشگاه کالیفرنیا هستم، مردم از من می‌پرسند، آیا دکتر کمپبل را می‌شناسم!»***

کتاب‌های بیولوژی کمپبل تا کنون به بیش از ۹ زبان زندهٔ دنیا ترجمه شده است. پس از مرگ دکتر کمپبل، از طرف خانواده‌اش درخواست می‌شود تا به جای اهدای تاج گل، هزینه‌اش را برای کمک به بودجهٔ تحقیقاتی دانشجویانش ، به حساب دانشگاه کالیفرنیا واریز کنند. در سال ۲۰۱۱ گروه مؤلفین کتاب Biology ، به پاس سال‌ها خدمات ارزشمند نیل کمپبل در زمینهٔ آموزش زیست‌شناسی، از ویرایش نهم، عنوان کتاب را به CAMPBELL BIOLOGY تغییر داده است.

**روحش شاد و راهش پر رهرو باد**

# دربارهٔ نویسندگان



تیم نویسندگان نهمین ویرایش بیولوژی کمپبل، نشان‌دهندهٔ گروهی از متخصصین بنام در شاخه‌های مختلف زیست‌شناسی است. یقیناً یکی از دلایل موفقیت این کتاب در جهان، همین گروه منحصربه‌فرد می‌باشد.

**Jane B. Reece**



جین ریس، سرگروه تیم نویسندگان نهمین ویرایش، همکار نیل کمپبل بود. وی در تمام ویرایش‌های کتاب بیولوژی کمپبل شرکت داشته است. پیش‌تر، جین ریس در کالج Middlesex County و کالج Queensborough Community زیست‌شناسی عمومی را تدریس می‌کرد. وی دارای مدرک لیسانس بیولوژی از دانشگاه هاروارد، فوق‌لیسانس میکروبیولوژی از دانشگاه Rutgers، و دکترای باکتریولوژی از دانشگاه کالیفرنیا است. ریس هنگامی که دانشجوی دکتری و فوق دکتری بود، برروی نوترکیبی ژنتیکی در باکتری‌ها تحقیق می‌کرد. وی علاوه بر این کتاب، نویسندهٔ کتاب‌های *Biology: Concepts & Connections*، *Essential Biology*، و *The World of the Cell* می‌باشد.

**Michael L. Cain**



مایکل کاین (بخش‌های ۴ و ۵) یک زیست‌شناس تکاملی و اکولوژیست است که اکنون به‌طور تمام وقت مشغول تألیف می‌باشد. مایکل دارای لیسانس زیست‌شناسی و ریاضی از کالج Bowdoin، مدرک فوق‌لیسانس زیست‌شناسی از دانشگاه Brown، و دارای درجهٔ دکترای اکولوژی و زیست‌شناسی تکاملی از دانشگاه Cornell می‌باشد. وی در دانشگاه نیومکزیکو و مؤسسهٔ تکنولوژی Rose-Hulman، گسترهٔ وسیعی از دوره‌های تدریس، از جمله زیست‌شناسی عمومی، اکولوژی، تکامل، و زیست‌شناسی حفظ ذخایر زیستی را تدریس می‌کرده است. مایکل کاین نویسندهٔ ده‌ها مقالهٔ علمی دربارهٔ موضوعاتی چون رفتار گیاه‌خواری در حشرات، پراکنش دوربرد دانه‌ها، و گونه‌زایی در جیرجیرک‌ها است. وی علاوه‌بر کارش در بیولوژی کمپبل، ناظر تألیف یک کتاب مرجع در زمینهٔ اکولوژی است.

**Lisa A. Urry**



لیزا یوری (فصل ۱ و بخش‌های ۳-۱)، یک زیست‌شناس تکوینی و رئیس کنونی دپارتمان بیولوژی در کالج Mills است. لیزا پس از فارغ‌التحصیلی از دانشگاه Tufts در بیولوژی، دکترای خود را در زیست‌شناسی تکوینی و مولکولی در مؤسسهٔ تکنولوژی ماساچوست (MIT) تکمیل کرد. وی تعدادی مقالات تحقیقی منتشر کرده است، که بیش‌تر آنها بر روی بیان ژن طی تکوین جنینی و لاروی در خارپوستان دریایی متمرکز هستند. لیزا همچنین عمیقاً متعهد به اعطای فرصت برای زنان در تحقیق و آموزش علوم است.



**Steven A. Wasserman**

استیون واسرمن (بخش ۷)، پروفسور دانشگاه کالیفرنیای سان‌دیه‌گو (UCSD) است. وی لیسانس زیست‌شناسی خود را از دانشگاه هاروارد و دکترای خود را در علوم زیستی از MIT گرفت. استیو از طریق تحقیق بر روی مکانیسم‌های تنظیمی در مگس دروزوفیلا، وارد زمینه‌های زیست‌شناسی تکوینی، تولیدمثل و ایمنی شد. وی درحال حاضر در دانشگاه پزشکی تگزاس و UCSD، ژنتیک، تکوین و فیزیولوژی را برای دانشجویان پزشکی تدریس می‌کند. او همچنین مشاور و راهنمای پایان‌نامهٔ بیش از ده‌ها دانشجوی دکترا بوده است.

**Robert B. Jackson**

رابرت جکسون (بخش ۸)، پروفسور بیولوژی و رئیس علوم محیطی در دانشگاه Duke است. رابرت دارای مدرک مهندسی شیمی از دانشگاه Rice، فوق‌لیسانس در اکولوژی و آمار و دکترای اکولوژی از دانشگاه Utah State است. رابرت برای سالیان زیادی برنامهٔ دانشگاه Duke را در زمینهٔ اکولوژی رهبری کرد. وی جوایز متعددی را دریافت کرده است که از جملهٔ آن جایزهٔ Presidential Early Career Award در زمینهٔ علوم و مهندسی از مؤسسهٔ ملی علوم می‌باشد. رابرت جکسون از نوشتن به سبک پاپ لذت می‌برد. او علاوه‌بر این، یک کتاب تجاری دربارهٔ محیط (The Earth Remains Forever) و دو کتاب شعر برای بچه‌ها (Weekend mischief و Animal Mischief) منتشر کرده است.



**Peter V. Minorsky**

پیتر مینورسکای (بخش ۶)، پروفسور کالج Mercy در نیویورک است؛ وی در آنجا تکامل، اکولوژی، گیاه‌شناسی، و زیست‌شناسی عمومی را تدریس می‌کند. پیتر لیسانس زیست‌شناسی خود را از کالج Vassar و دکترای خود را در گرایش فیزیولوژی گیاهی از دانشگاه Cornell دریافت کرد. او همچنین نویسندهٔ علمی مجلهٔ *Plant Physiology* است. پیتر پس از فلوشیپ فوق دکترا در دانشگاه ویسکانسین، در کالج Kenyon، کالج Union، دانشگاه Western Connecticut State، و کالج Vassar مشغول به تدریس شد. وی درحقیقت یک الکتروفیزیولوژیست است که پاسخ گیاهان به استرس را مطالعه می‌کند. پیتر در سال ۲۰۰۸ به‌خاطر شیوهٔ منحصربه‌فردش در آموزش، جایزهٔ ویژهٔ بهترین روش تدریس را از آن خود کرده است.

## پیشگفتار

راستی که امروز چه راحت راجع به کتاب‌های ***بیولوژی*** صحبت می‌کنیم؛ **کمپبل، سولومون، لایف، میدر!** کتاب‌هایی که در زمان‌های نه‌چندان دور برای دبیران و دانش‌آموزان ما اصلاً شناخته شده نبودند. اکنون در سال ۲۰۱۲ کتاب کمپبل ۲۰۱۱ را ترجمه و با کیفیتی کاملاً متفاوت تقدیم شما دوستان می‌کنیم. باور کنید این فراتر از یک موفقیت بزرگ است؛ شاید بشود گفت یک *اتفاق منحصربه‌فرد* و *ممتاز* در زیست‌شناسی کشور! ارزش و تأثیر این حرکت خانه زیست‌شناسی بسیار فراتر از چارچوب المپیاد، کنکور و دبیرستان است. در بسیاری از دانشگاه‌های کشور زیست‌شناسی عمومی را از روی کمپبل تدریس می‌کنند. حتی در سال گذشته در آزمون‌های *فوق‌لیسانس* و *دکتری* وزارت علوم نیز سؤال‌های درس زیست‌شناسی عمومی بر اساس کتاب بیولوژی کمپبل طراحی و برگزار شده است. **راستی چرا این کتاب تا این حد در میان زیست‌شناسان محبوب شده است؟**

آنچه که باعث این همه اتفاقات میمون و ارزشمند شده است جایگاه جهانی این کتاب، محتوای علمی آن و زاویهٔ نگاه متفاوت آن است! چگونه می‌شود که یک کتاب تا این حد در دنیا خواهان پیدا می‌کند؟

به طوری که امروز تخمین زده می‌شود بیش از نیم‌میلیون دانش‌آموز در سراسر جهان از کتاب کمپبل استفاده می‌کنند و اینچنین است که *امروز در جامعهٔ زیست‌شناسی کشور،* ***بیولوژی کمپبل*** *تبدیل به یک فرهنگ شده است!* **فرهنگی دوست‌داشتنی، علمی و تأثیرگذار.**

نکتهٔ برجسته و مورد علاقهٔ خانه زیست‌شناسی در این کتاب، نمونهٔ پژوهش‌های مطرح در هر فصل است. پژوهش‌هایی که به طور عمده در سال‌های ۲۰۰۰ به بعد در مجلات فوق‌العاده معتبری چون ***Nature*** و ***Science*** به چاپ رسیده است. متأسفانه شاید امروز برای اساتید، دانشجویان و مراکز تحقیقاتی ما چاپ یک مقالهٔ پژوهشی در مجلهٔ *Nature* **یک آرزوی دست‌نیافتنی** باشد. سعی کردیم این پژوهش‌ها و منابع آن کاملاً ویژه باشد تا از دورهٔ دبیرستان دانش‌آموزان ما با این گونه مجلات آشنایی کامل داشته باشند؛ کاری که در دیگر نقاط دنیا انجام می‌دهند. در معرفی این پژوهش‌ها و مجلات به شدت نیازمند همراهی دبیران محترم هستیم.

و اما کتاب مرجع بیولوژی کمپبل مهم‌ترین نوشتهٔ ***Neil A. Campbell*** است که پس از درگذشت وی توسط Reece و همکاران، ویرایش و چاپ شده است. این کتاب بی‌نظیر در هشت موضوع متفاوت به بررسی دنیای زنده می‌پردازد. ***شیمی حیات، سلول، ژنتیک، مکانیسم تکامل، تاریخچهٔ تکامل و تنوع زیستی، ساختار و عمل گیاهان، ساختار و عمل جانوران و اکولوژی*** موضوعاتی هستند که هر یک در چندین فصل و با زیبایی‌های کاملاً منحصربه‌فرد مورد بررسی دقیق قرار گرفته‌اند.

خانه‌زیست‌شناسی بر اساس استراتژیِ نیاز دانش‌پژوهان و قدرت خرید متفاوت آنها، این کتاب ارزشمند و مرجع را در ***هشت جلد جداگانه*** و با عناوین ذکرشده تقدیم علاقمندان خواهد کرد.

# فهرست مطالب



## فصل ۱ مقدمه: موضوعات مطرح در بررسی حیات





## فصل ۲ اساس شیمیایی حیات



## فصل ۳ آب منشأ حیات





## فصل ۴ کربن و گوناگونی مولکولی در حیات





## فصل ۵ ساختار و عملکرد درشت مولکول‌ها

# 1

# مقدمه: موضوعات مطرح در بررسی حیات



▲ شکل ۱-۱ گیاه صدفی چگونه با محیط خود سازگار می‌شود؟

## مفاهیم کلیدی

۱-۱ موضوعاتی از این کتاب که مفاهیم زیستی متفاوت را به هم مرتبط می‌کنند

۱-۲ مطلب اساسی: تکامل، علت وجود وحدت و تنوع در حیات است

۱-۳ در مطالعهٔ طبیعت، دانشمندان به مشاهده می‌پردازند و سپس فرضیه‌هایی را ارائه کرده و آزمایش می‌کنند

۱-٤ علم از رویکردی تعاونی و نقطه نظراتی گوناگون بهره می‌برد

## نگاه کلی

### پژوهش دربارهٔ حیات

گیاه صدفی (شکل ۱-۱)، بومی کوهستان‌های شمال شرق مکزیک است. برگ‌های گوشتالو، آبدار و سایر ویژگی‌های آن به این گیاه اجازهٔ ذخیره و نگهداری آب را می‌دهد. دسترسی این گیاه به آب حتی در زمان بارندگی نیز محدود است، زیرا گیاه صدفی در شکاف دیواره‌های عمودی صخره‌ها رشد می‌کنند، جایی که خاک اندکی برای نگهداشتن آب باران وجود دارد (شکل ۲-۱). این ویژگی‌های گیاه در حفظ آب به آن کمک می‌کند تا در این گوشه‌ها و شکاف‌ها رشد کرده و زنده بماند. خصوصیات این گیاه، در بسیاری از گیاهان ساکن محیط‌های خشک نیز یافت می‌شود، خصوصیاتی که به آنها اجازه می‌دهد در جایی‌که بارندگی غیر قابل پیش‌بینی است به حیات خود ادامه دهند.

این سازگاری‌ها حاصل **تکامل** است، فرایندی که طی آن حیات بر روی زمین از حالت اولیهٔ خود به شکل جانداران گوناگونی که امروزه زندگی می‌کنند، تغییر کرده است. در قسمت‌های بعدی این فصل خواهید آموخت که تکامل اصل اساسی زیست‌شناسی و محور اصلی این کتاب است.

با اینکه زیست‌شناسان مطالب زیادی در مورد حیات بر روی زمین می‌دانند اما هنوز اسرار زیادی باقی‌مانده است. برای مثال، منشأ گیاهان گل‌دار دقیقاً چیست؟ طراحی سؤال در مورد مسائل حیات و جستجوی پاسخ‌هایی علمی برای آنها ـ تحقیق علمی ـ جزء فعالیت‌های اصلی **زیست‌شناسی** (مطالعهٔ علمی حیات) هستند. ممکن است سؤالات زیست‌شناسان بلندپروازانه به‌نظر برسد مثلاً بپرسند که چگونه یک سلول کوچک تبدیل به یک درخت یا سگ می‌شود؟ ذهن انسان چگونه عمل می‌کند؟ یا ارتباط موجودات زندهٔ مختلف در جنگل با هم چگونه است؟



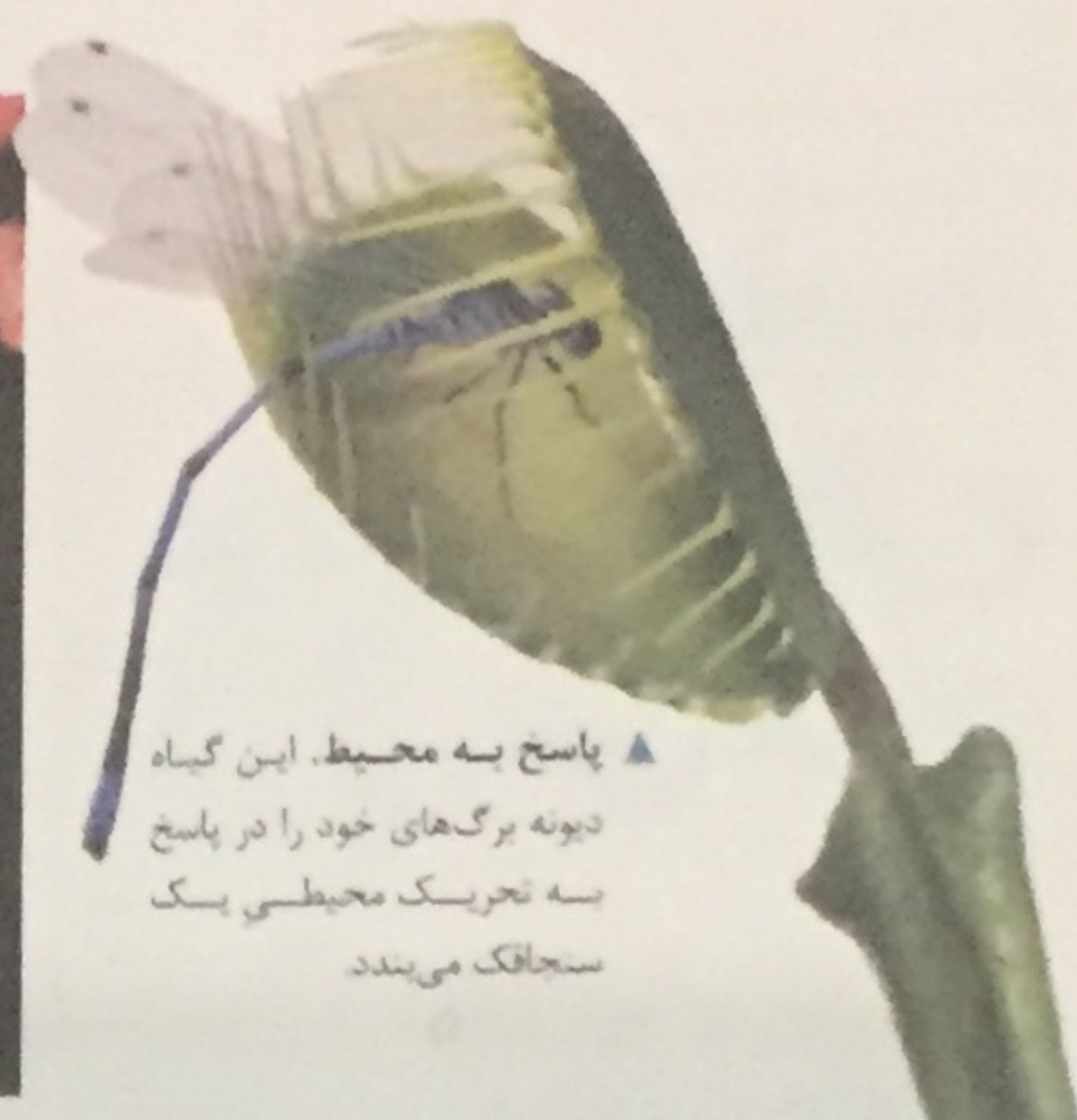
▲ شکل ۲-۱ گیاه صدفی *(Graptopetalum paraguayense)* برگ‌های ضخیم این گیاه آب را در خود نگاه داشته و گیاه را قادر می‌سازد تا در جایی‌که خاک بسیار اندکی وجود دارد، زندگی کند. همان‌طور که دیده می‌شود، رنگ این برگ‌ها متفاوت است.

▼ **نظم.** این نمای نزدیک از گل آفتابگردان ساختار بسیار منظمی را نشان می‌دهد که مشخصهٔ حیات است.





▲ **سازگاری تکاملی.** این اسب دریایی کوچک در محیطش استتار می‌کند. چنین سازگارهایی طی نسل‌های بسیاری از طریق موفقیت تولید مثلی افرادی که دارای صفاتی وراثتی هستند که آنها را نسبت به محیط‌شان سازگار می‌کنند، تکامل می‌یابند.



▲ **پاسخ به محیط.** این گیاه دیونه برگ‌های خود را در پاسخ به تحریک محیطی یک سنجاقک می‌بندد.



▲ **تنظیم.** تنظیم جریان خون از رگ‌های خونی گوش‌های این خرگوش به حفظ دمای ثابت بدن از طریق تنظیم مبادلهٔ گرما با هوای محیط کمک می‌کند.



▲ **پردازش انرژی.** این مرغ شهدخوار سوخت مورد نیاز خود را به شکل شهد از گل‌ها به‌دست می‌آورد. مرغ شهدخوار از انرژی ذخیره شده در غذایش استفاده می‌کند تا پرواز کرده و کارهای دیگرش را انجام دهد.

▶ **تولید مثل.** موجودات زنده افرادی شبیه به‌خود تولید می‌کنند. اینجا، یک بچه‌زرافه در نزدیکی مادر خود ایستاده است.





▶ **رشد و نمو.** اطلاعات وراثتی حمل شده توسط ژن‌ها، الگوی رشد و نمو جانداران را کنترل می‌کنند، شبیه این کروکودیل نیل.

▲ **شکل ۳-۱** برخی ویژگی‌های حیات.

آیا شما می‌توانید سؤالاتی در مورد جانداران زنده مطرح کنید؟ اگر این کار را انجام دهید، درحقیقت شروع به فکر کردن مانند یک زیست‌شناس کرده‌اید. زیست‌شناسی بیش از هر چیز دیگری، نوعی جستجو است؛ پژوهشی پایان نیافتنی در مورد طبیعت حیات.

اما حیات چیست؟ حتی کودکی خردسال نیز می‌تواند تشخیص دهد که یک سگ یا گیاه زنده است درحالی‌که سنگ و چوب‌خشک بی‌جان هستند. اما پدیده‌ای که ما آن را حیات می‌نامیم، یک تعریف ساده و یک جمله‌ای را نمی‌پذیرد. ما حیات را توسط آن‌چه که جانداران زنده انجام می‌دهند، می‌شناسیم. **شکل ۳-۱** برخی از ویژگی‌های حیات را نشان می‌دهد.

با وجود تعداد اندک عکس‌های شکل ۳-۱، این مسأله به ذهن خطور می‌کند که زندگی چقدر متنوع است؟ زیست‌شناسان چگونه

از این همه گوناگونی و پیچیدگی سر درمی‌آورند؟ این فصل ساختاری را برای پاسخ دادن به این سؤال دانشمندان مهیا می‌سازد. در ابتدای فصل نگرشی وسیع نسبت به زیست‌شناسی خواهیم داشت که الگوهای واحدی را برای ما ایجاد می‌کند. سپس نگاهی از بالا به این الگوهای زیستی خواهیم انداخت؛ پس از آن نگاهی کوتاه به تکامل خواهیم داشت و دلایلی را بررسی می‌کنیم که موجب شد تا *چارلز داروین* به‌نظریهٔ تکامل خود برسد. درنهایت نگاهی بر تحقیقات زیست‌شناسان می‌اندازیم که ببینیم چگونه سؤالی را طرح می‌کنند و به‌دنبال پاسخ برای آن می‌گردند.

## ۱-۱ موضوعاتی از این کتاب که مفاهیم زیستی متفاوت را به هم مرتبط می‌کنند

زیست‌شناسی یک مبحث بسیار گسترده است و هر کسی که اخبار را دنبال کند متوجه می‌شود که این علم به‌سرعت در حال گسترش است. صرفاً حفظ کردن جزئیات بسیار زیاد این علم، کار معقولی نیست. پس چگونه شما به‌عنوان یک دانش‌پژوه می‌توانید دیدگاه منسجمی از حیات داشته باشید؟ یک رویکرد بهتر این است که مطالب گسترده‌ای را که مطالعه می‌کنید به موضوعات کلی‌تر تقسیم کنید که مشتمل بر کلیات زیست‌شناسی باشد - راه‌های فکر کردن در رابطه با حیات که تا دهه‌های آتی به‌کار می‌روند. تمرکز برروی چند مسأله بزرگ به شما کمک می‌کند تا بتوانید مطالبی را که در حین آموختن زیست‌شناسی کسب می‌کنید مرتب کرده و آنها را بهتر بفهمید. برای کمک به شما، هفت موضوع مختلف را انتخاب کرده‌ایم؛ موضوعاتی که ضمن مطالعهٔ قدم به قدم این کتاب، با آنها مواجه خواهید شد.

### موضوع ۱: ویژگی‌های جدید در هر سطحی از سلسله مراتب زیستی، پدیدار می‌شوند

بررسی حیات طیف وسیعی دارد؛ از یک مقیاس میکروسکوپی مولکول‌ها و سلول‌هایی که جانداران را ساخته‌اند تا یک مقیاس کلی که همهٔ جانداران کرهٔ زمین را شامل می‌شود. می‌توان این طیف وسیع را به سطوح گوناگونی در سازمان‌دهی زیستی تقسیم کرد. فرض کنید که از فضا به زمین نگاه می‌اندازید و مرحله به مرحله نگاه خود را نزدیک‌تر می‌کنید. اکنون بهار است و مقصد ما جنگل *انتاریو* (Ontario) در کانادا می‌باشد، جایی‌که به تدریج تا سطح مولکولی یک برگ از یک درخت افرا پیش خواهیم رفت. شکل ۴-۱ این سفر را به ما نشان می‌دهد. اعدادی که کنار شکل‌ها نوشته شده‌اند شما را به سطوح مختلف راهنمایی می‌کنند. جانداران توسط عکس نشان داده شده‌اند.

### ویژگی‌های نوپدید

اگر از سطح مولکولی شکل ۴-۱ به بالا برگردیم می‌توانیم ویژگی‌های نوپدیدی را در هر سطح مشاهده کنیم که در سطح دیگر وجود ندارد. این **ویژگی‌های نوپدید**، مربوط به آرایش و میانکنش‌های بین قسمت‌های مختلف است. برای مثال اگر در یک لولهٔ آزمایش کلروفیل و سایر مولکول‌های موجود در کلروپلاست را بریزید، فتوسنتز اتفاق نمی‌افتد. فتوسنتز، تنها زمانی اتفاق می‌افتد که این مولکول‌ها به شکل خاصی در کلروپلاست آرایش یابند. به‌عنوان مثال اگر آسیبی شدید به سر انسان بخورد به‌طوری‌که شکل مغز را تغییر دهد، با آنکه تمامی قسمت‌های مغز هنوز وجود دارند، ولی شاید ذهن از کار بیافتد. ذهن و فکر ما ویژگی‌های نوپدید شبکهٔ پیچیده‌ای از نورون‌ها هستند. در سطح بسیار بالاتری از سازمان‌بندی زیستی ـ در سطح اکوسیستم ـ بازیافت مواد شیمیایی که برای حیات ضروری است، (مثل کربن)، بستگی به شبکهٔ ارتباطات گوناگون جانداران با یکدیگر و با خاک، آب و هوا دارد.

ویژگی‌های نوپدید صرفاً مربوط به حیات نیست. ما می‌توانیم اهمیت قرارگیری اجزا در کنار یکدیگر را در تفاوت بین یک جعبهٔ حاوی قطعات دوچرخه و یک دوچرخهٔ کامل ببینیم. همچنین با آنکه گرافیت و الماس هر دو کربن خالص هستند ولی به لحاظ قرارگیری متفاوت اتم‌های کربن، دارای ویژگی‌های بسیار متفاوتی هستند. در مقایسه با این مثال‌های غیرزنده، پیچیدگی بی‌نظیر سیستم‌های زیستی باعث می‌شوند تا ویژگی‌های آنها مطلب بحث‌برانگیزی برای مطالعه باشد.

### قدرت و محدودیت‌های کاهش‌گرایی[1]

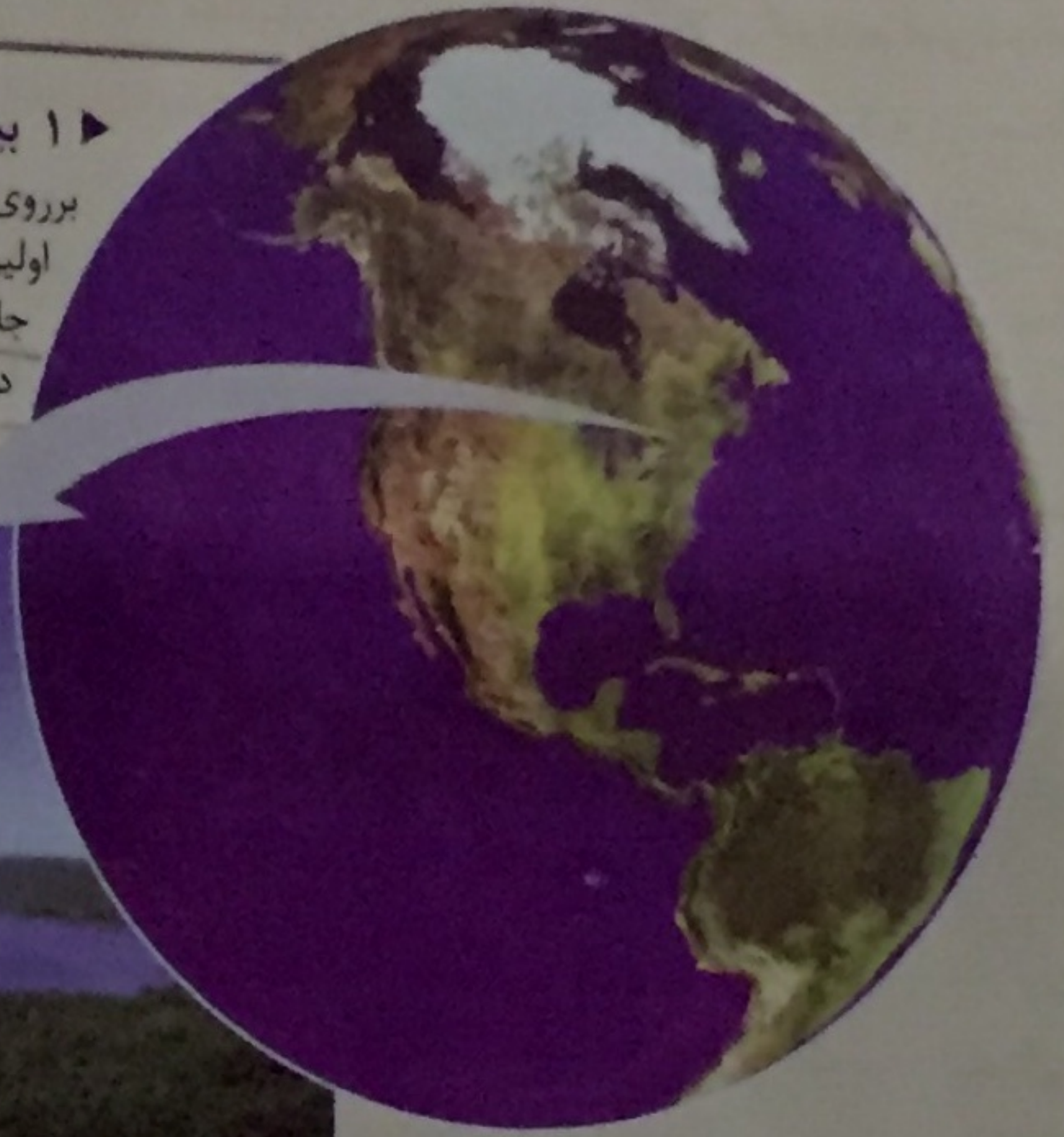
از آنجایی‌که ویژگی‌های حیات برخاسته از سازمان‌بندی‌های پیچیده است فهم سیستم‌های زیستی برای دانشمندان مسأله‌ای غامض به‌شمار می‌رود. از طرف دیگر نمی‌توان ویژگی‌های یک سطح بالاتر از نظم را با تکه‌تکه کردن آن به بخش‌های سازنده‌اش فهمید. یک جانور تکه‌تکه شده هیچگونه فعالیتی ندارد! سلولی که به مولکول‌های ساخته‌شده‌اش تبدیل شود دیگر سلول نیست! تجزیهٔ یک سیستم زنده موجب اختلال در عملکرد آن می‌شود. از طرف دیگر چیزی به پیچیدگی یک جاندار یا سلول، با تکه‌تکه کردن آن قابل فهم یا آنالیز نیست.

*کاهش‌گرایی* (تبدیل سیستم‌های پیچیده به قسمت‌های کوچکتر که برای بررسی قابل فهم‌تر باشند) یک استراتژی قوی در زیست‌شناسی است. برای مثال، *جیمز واتسون* و *فرانسیس کریک* در

1 - Reductionism

▼ شکل ۴-۱

## بررسی سطوح مختلف سازمان‌دهی زیستی



**۱ ◄ بیوسفر** به‌محض این‌که به قدر کافی به زمین نزدیک شویم تا بتوانیم اقیانوس‌ها و قاره‌های موجود برروی آن‌را ببینیم، نشانه‌های حیات نیز به صورت موزاییک سبزی از جنگل‌های گیاهی ظاهر می‌شوند. این اولین تصویر از بیوسفر (زیست‌کره) است که شامل تمامی محیط‌های روی زمین می‌باشد که حیات در آنها جاری است. بیوسفر شامل بیشتر خشکی‌ها، بیشتر آب‌ها، اتمسفری به عرض چند کیلومتر، و حتی رسوباتی در کف اقیانوس و صخره‌هایی چندین کیلومتر زیر سطح زمین است.



**۲ ◄ اکوسیستم‌ها** همچنانکه در فرود فرضی خود در أنتاریو به سطح زمین می‌رسیم می‌توانیم جنگل را با درخت‌های برگ‌ریزش مشاهده کنیم. این جنگل برگ‌ریز مثالی از یک اکوسیستم است. دشت‌ها، بیابان‌ها و صخره‌های مرجانی اقیانوس‌ها مثال‌های دیگری از اکوسیستم هستند. اکوسیستم شامل همهٔ انواع جانداران در یک منطقهٔ ویژه همراه با همهٔ اجزای بی‌جان محیط می‌باشد که در آن جانداران با اجزای غیرزنده، مثل خاک، آب، گازهای اتمسفر و نور میانکنش می‌دهند. مجموع تمام اکوسیستم‌های موجود برروی زمین بیوسفر را ایجاد می‌کنند.



**۳ ◄ جوامع** به مجموعهٔ همهٔ جاندارانی که در یک اکوسیستم زندگی می‌کنند جامعهٔ زیستی می‌گویند. جامعهٔ ما در این جنگل شامل انواع مختلفی از درختان و سایر گیاهان، گستره‌ای از جانوران، انواع مختلفی از قارچ‌ها، و تعداد بسیار زیادی از میکروارگانیسم‌های گوناگون مثل باکتری‌ها می‌باشد، که بسیار کوچک‌اند و بدون میکروسکوپ قادر به دیدن آنها نیستیم. هریک از این اشکال زیستی، گونه نام دارد.



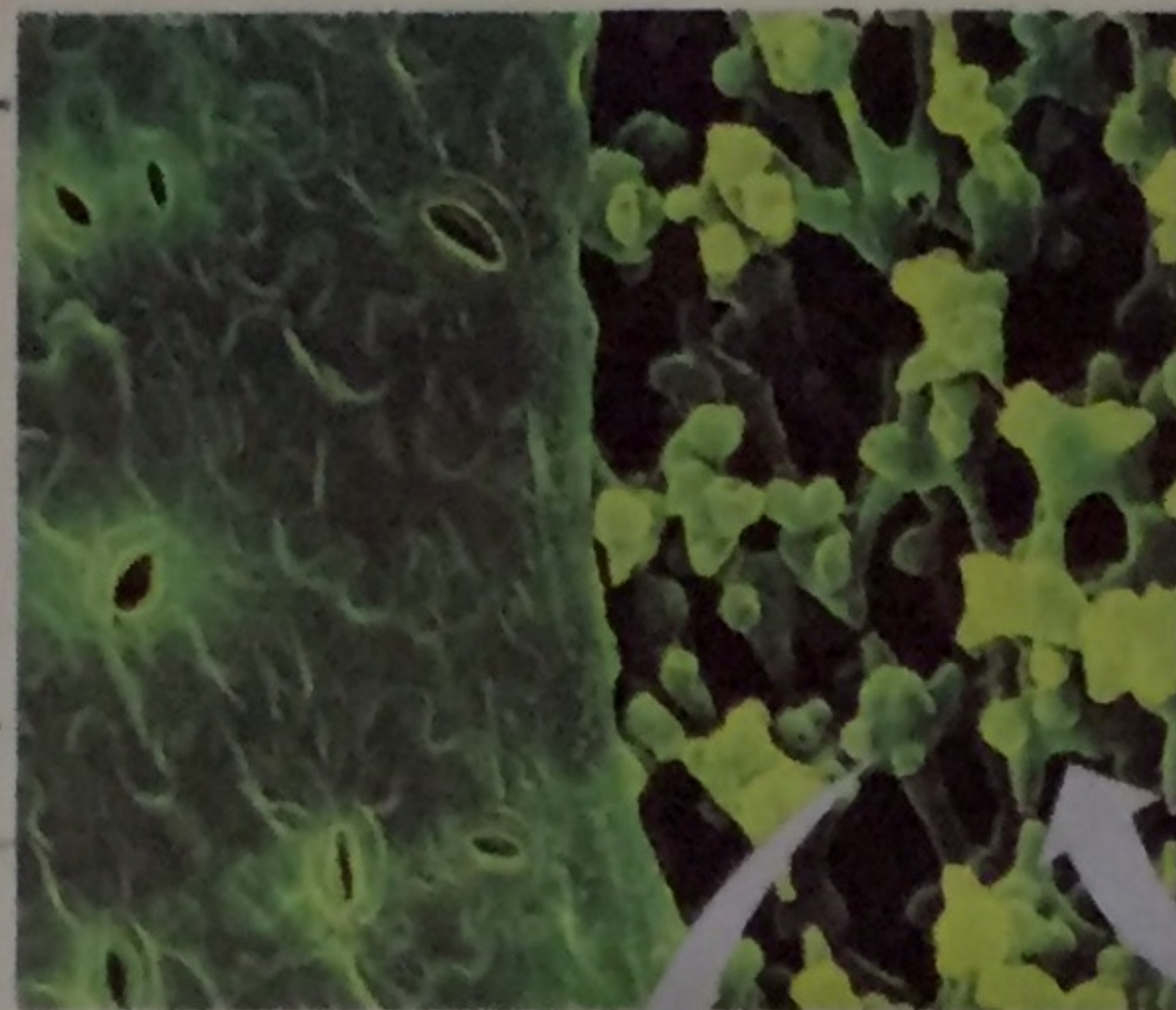


**۴ ◄ جمعیت‌ها** جمعیت شامل افراد مختلف یک گونه است که در یک مکان خاص زندگی می‌کنند. برای مثال، جنگل أنتاریو شامل جمعیت درختان *افرای قندی* (sugar maple) و آهوی دم سفید است. اکنون می‌توانیم جامعه را این گونه تعریف کنیم: مجموعه‌ای از جمعیت‌ها که در یک مکان خاص زندگی می‌کنند.

**۵ ▲ جانداران** افراد زنده را جاندار گویند. هریک از درختان افرای قندی و سایر گیاهان در جنگل، یک جاندار هستند. همچنین هرکدام از جانوران جنگل، مثل قورباغه، سنجاب، گوزن و حشرات نیز جاندارند. خاک نیز سرشار از میکروارگانیسم‌هایی مثل باکتری‌هاست.

A + A + A = A جمعیت
B + B + B + B = B جمعیت
جامعه = جمعیت B + جمعیت A

▼ **۶ اندام‌ها و دستگاه‌ها** هرچه ما معماری جانداران پیچیده‌تری را بررسی می‌کنیم ساختار سلسله مراتبی حیات بیشتر آشکار می‌گردد. برگ درخت افرا، مثالی از یک اندام می‌باشد. اندام یک کار خاص را در بدن انجام می‌دهد. ساقه و ریشه از دیگر اندام‌های اصلی درخت هستند. مغز، قلب و کلیه مثال‌هایی از اندام‌ها در بدن انسان هستند. اندام‌های انسان و سایر جانوران پیچیده و گیاهان به‌صورت دستگاه، سازمان یافته‌اند. دستگاه شامل دسته‌ای از اندام‌ها است که با هم در انجام عملی خاص همکاری می‌کنند. برای مثال، دستگاه گوارش انسان از اندام‌هایی مثل زبان، معده و روده تشکیل شده است. اندام‌ها شامل بافت‌های متعددی هستند.



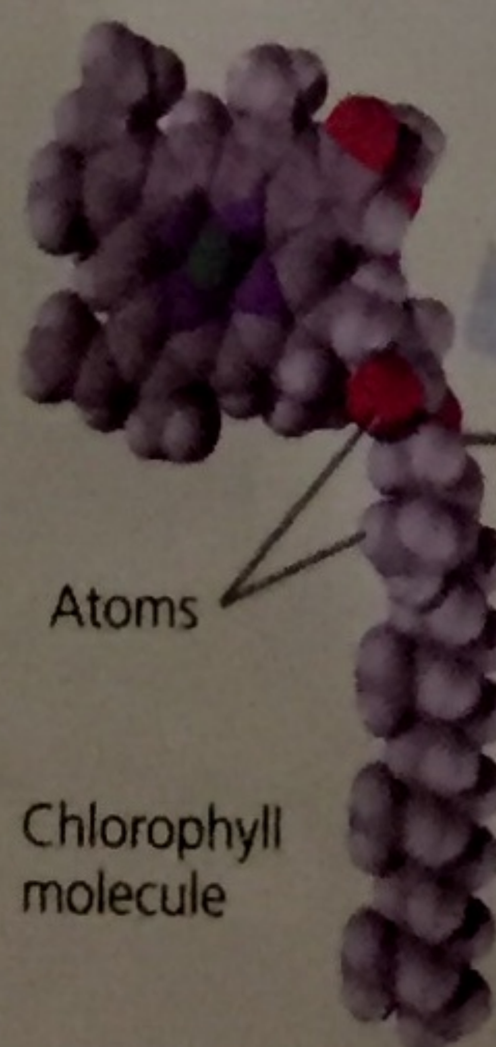

◄ **۷ بافت‌ها** در این مرحله برای دیدن بافت‌های برگ باید از میکروسکوپ استفاده کنیم. هر بافت شامل گروهی از سلول‌ها است که با هم کار کرده و عملکرد خاصی را انجام می‌دهند. برگی که در این شکل مشاهده می‌کنید در یک زاویهٔ خاص برش خورده است. بافت کندومانندی که در داخل برگ مشاهده می‌کنید (سمت چپ تصویر) محل اصلی فرایند فتوسنتز است، فرایندی که طی آن انرژی نور به انرژی شیمیایی موجود در قند و سایر غذاها تبدیل می‌شود. از زاویه‌ای که ما به این برگ نگاه می‌کنیم بافت دیگری که همانند پازل Jigsaw (نوعی پازل دشوار) است را نیز مشاهده می‌کنیم. این بافت اپیدرم است، که سطح برگ را می‌پوشاند (سمت راست تصویر). سوراخ‌های موجود در اپیدرم به گاز دی‌اکسیدکربن، مادهٔ خامی که برای ساخت قند لازم است، اجازه می‌دهند که به بافت‌های فتوسنتزکنندهٔ داخل برگ راه یابد. در این مقیاس، می‌توانیم ببینیم که هر بافت ساختار سلولی مجزایی دارد.




◄ **۸ سلول‌ها** سلول واحد پایه‌ای ساختار و عملکرد حیات است. برخی از جانداران، مثل آمیب‌ها و بیشتر باکتری‌ها، تک‌سلولی‌اند. سایر جانداران، مثل جانوران و گیاهان، پرسلولی‌اند. برخلاف موجودات تک‌سلولی که یک سلول مسئول انجام تمامی اعمال حیاتی است، در جانداران پرسلولی کار بین سلول‌های تخصص‌یافته تقسیم شده است. بدن انسان از تریلیون‌ها سلول میکروسکوپی از انواع بسیار مختلف، مثل سلول‌های ماهیچه‌ای و عصبی، تشکیل شده است، که به صورت بافت‌های تخصص یافتهٔ متفاوتی سازمان‌دهی شده‌اند. برای مثال، بافت ماهیچه‌ای از دسته‌ای از سلول‌های ماهیچه‌ای تشکیل شده است. در عکس زیر، تصویری بسیار بزرگ‌تر، از سلول‌های موجود در برگ را مشاهده می‌کنید. عرض هریک از این سلول‌ها تنها ۴۰ µm (میکرومتر) است. عرض حدود ۵۰۰ عدد از این سلول‌ها برابر عرض یک سکهٔ کوچک است. با آنکه این سلول‌ها بسیار کوچک‌اند، اما هرکدام دارای چندین ساختار سبز رنگ به‌نام کلروپلاست هستند، که مسئول فتوسنتز می‌باشند.



◄ **۹ اندامک‌ها** اندامک‌ها ساختارهای عملکردی متفاوتی هستند که سلول را می‌سازند. کلروپلاست نمونه‌ای از آنهاست. در این تصویر، یک وسیلهٔ بسیار قوی به‌نام میکروسکوپ الکترونی تصویری واضح از یک کلروپلاست را به نمایش گذاشته است.




◄ **۱۰ مولکول‌ها** مقیاس بعدی، ما را به نمایی از حیات در کلروپلاست، در سطح مولکولی می‌برد. مولکول ساختار شیمیایی است که از واحدهای شیمیایی کوچک‌تری به‌نام اتم ساخته شده است. در این تصویر کامپیوتری برای نشان دادن اتم‌های کلروفیل از گوی‌ها استفاده شده است. کلروفیل رنگیزه‌ای است که موجب سبزی برگ می‌شود. کلروفیل که یکی از مهمترین مولکول‌های موجود برروی زمین می‌باشد، در مرحلهٔ اول فتوسنتز انرژی نورانی را از خورشید جذب می‌کند. در هر کلروپلاست، میلیون‌ها کلروفیل وجود دارد که قرارگیری‌شان در کنار هم آنها را به‌وسیله‌ای تبدیل کرده است تا انرژی نور را به انرژی شیمیایی ذخیره شده در مولکول‌های غذا تبدیل کند.

سال ۱۹۵۳ توانستند با بررسی ساختار مولکولی DNA که از سلول‌ها استخراج شده بود به این نتیجه برسند که چرا این مولکول پایهٔ شیمیایی وراثت است. زمانی که دانشمندان توانستند ارتباط بین DNA و دیگر مولکول‌های موجود در سلول را دریابند نقش اصلی DNA بیشتر مشخص شد. زیست‌شناسان، باید استراتژی کاهش‌گرایی را با مقیاس بزرگ‌تری از موضوع درک ویژگی‌های نوپدید، متوازن کنند ـ چگونه قسمت‌های مختلف سلول‌ها، جانداران و سایر سطوح بالاتر مثل اکوسیستم با یکدیگر کار می‌کنند؟

### زیست‌شناسی سیستم‌ها

یک سیستم به‌طور ساده شامل مجموعه‌ای از اجزاء است که با یکدیگر کار مشخصی را انجام می‌دهند. یک زیست‌شناس می‌تواند یک سیستم را در هر سطحی از سازمان‌دهی بررسی کند. یک سلول برگ، یک قورباغه، یک کلنی مورچه و یا اکوسیستم کویر را می‌توان یک سیستم در نظر گرفت. برای درک اینکه سیستم‌ها چگونه کار می‌کنند، داشتن «فهرست اجزاء» کافی نیست. با توجه به این مطلب اکنون بسیاری از محققان توانسته‌اند تا رویکرد کاهش‌گرایی را با استراتژی‌هایی جدید برای بررسی کل سیستم کامل کنند. این تغییر در زاویهٔ دید به مثابه آن است که از سطح زمین در گوشه‌ای از خیابان سوار یک هلیکوپتر شوید و از آنجا بر فراز شهر پرواز کنید و از این دید مسائلی مثل زمان روز، پروژه‌های ساختمانی، تصادفات و مشکلاتی که ترافیک شهر را تحت تأثیر قرار می‌دهد بررسی کنید.

هدف **زیست‌شناسی سیستم‌ها** ساخت مدل‌هایی برای توصیف دینامیک رفتار یک سیستم زیستی کامل است. ساخت مدل‌های موفق، زیست‌شناسان را قادر ساخته تا بتوانند پیش‌بینی کنند که تغییر هریک از متغیرها چگونه می‌تواند بر اجزای سیستم و در نهایت کل سیستم اثر بگذارد. بنابراین، رویکرد سیستمی ما را قادر ساخته تا سؤالات جدیدی طرح کنیم. یک دارو که فشار خون را پایین می‌آورد بر سایر اندام‌ها چه تأثیری دارد؟ افزایش میزان آب محصولات کشاورزی چگونه می‌تواند مولکول‌های ضروری برای تغذیهٔ انسان را افزایش دهد؟ افزایش دی‌اکسیدکربن اتمسفر چگونه می‌تواند اکوسیستم‌ها و کل زیست‌کره را تحت تأثیر قرار دهد؟ هدف نهایی زیست‌شناسی سیستم‌ها پاسخ به سؤالات بزرگی مانند همین سؤال است.

زیست‌شناسی سیستم‌ها مربوط به بررسی حیات در هر سطحی است. در اوایل قرن بیستم، زیست‌شناسانی که فیزیولوژی جانوری را مطالعه می‌کردند، شروع به تلفیق داده‌هایی کردند که چگونه اندام‌های مختلف، فرایندهایی همچون تنظیم غلظت قند خون را هماهنگ می‌کنند. در دههٔ ۱۹۶۰ زیست‌شناسانی که در زمینهٔ اکوسیستم‌ها تحقیق می‌کردند سیستم‌های قانون‌مندتر و پیچیده‌تری را پایه‌گذاری کردند که ارتباطات بین جانداران و موجودات بی‌جان موجود در اکوسیستمی مانند نمکزار را با هم نشان می‌داد. این مدل‌ها برای پیش‌بینی پاسخ‌های این سیستم‌ها به تغییرات، بسیار کارآمد بودند. اخیراً زیست‌شناسی سیستم‌ها در سطح سلولی و مولکولی به‌کار گرفته شده‌اند. در مورد این‌گونه سیستم‌ها هنگامی که به بررسی DNA می‌پردازیم بیشتر بحث خواهیم کرد.

### موضوع ۲: جانداران با محیط فیزیکی و جانداران دیگر میانکنش می‌کنند

به شکل ۴-۱ برگردید و این‌بار برروی جنگل تمرکز کنید. در این اکوسیستم یا هر اکوسیستم دیگری، جانداران به‌طور پیوسته با محیط اطراف خود که شامل موجودات زنده و عوامل غیرزنده است در ارتباط هستند. برای مثال، درخت، آب و مواد معدنی را به‌وسیلهٔ ریشه‌های خود از خاک می‌گیرد. در همین زمان، برگ‌های گیاه دی‌اکسیدکربن را از هوا و انرژی نورانی را به‌وسیلهٔ کلروفیل‌های




▲ شکل ۵-۱ برهمکنش‌های یک درخت آکاسیای آفریقایی با جانداران دیگر و محیط فیزیکی.

خود از خورشید می‌گیرند تا فرایند فتوسنتز را پیش برند و آب و دی‌اکسیدکربن را به قند و اکسیژن تبدیل کنند. درخت، اکسیژن آزاد می‌کند و ریشه‌های آن با شکستن سنگ‌ها به روند تشکیل خاک کمک می‌کنند (شکل ۵-۱). هم جاندار و هم محیط اطراف آن تحت تأثیر روابط بین آن دو قرار دارند. درخت همچنین با سایر جانداران دیگر، مثل میکروارگانیسم‌های مربوط به ریشه که در خاک زندگی می‌کنند و یا حیواناتی که از برگ‌ها یا میوه‌های آن تغذیه می‌کنند در ارتباط است.

ما انسان‌ها مانند همهٔ موجودات با محیط خود برهمکنش داریم. متأسفانه گاهی برهمکنش‌های ما پیامدهای ناگواری دارند. به عنوان مثال، در زمان انقلاب صنعتی در دههٔ ۱۸۰۰، سرعت مصرف سوخت‌های فسیلی (ذغال سنگ، نفت و گاز) همواره افزایش یافته است. این عمل سبب رها شدن ترکیبات گازی از جمله مقادیر زیادی دی‌اکسیدکربن ($CO_2$)، به درون اتمسفر شده است. حدود نیمی از $CO_2$ تولید شده توسط انسان در اتمسفر باقی می‌ماند و مانند ورقهٔ شیشه‌ای در اطراف سیاره زمین عمل می‌کنند که اجازه می‌دهد زمین در اثر تابش خورشید گرم شود، اما مانع تشعشع گرما از زمین به فضای بیرونی می‌شود. دانشمندان تخمین می‌زنند که از سال ۱۹۰۰ میانگین دمای سیارهٔ زمین به دلیل این «اثر گلخانه‌ای» $1°C$ افزایش یافته است، و آنها تصور می‌کنند میانگین دمای کرهٔ زمین در طول قرن ۲۱ حداقل $3°C$ دیگر افزایش یابد.

این گرم شدن جهانی، جنبهٔ اصلی **تغییر آب و هوای کرهٔ زمین**، آثار زیان‌باری بر روی شکل و محل طبیعی زندگی موجودات در سراسر سیارهٔ زمین داشته است. خرس‌های قطبی قسمت زیادی از سکوی یخی که از روی آن شکار می‌کنند را از دست داده‌اند. همچنین نمونه‌هایی از چرندگان کوچک و گونه‌های گیاهی به ارتفاعات بلندتر تغییر مکان داده‌اند. جمعیت‌های پرندگان نیز برنامه‌های مهاجرت خود را تغییر داده‌اند. تنها آثار این تغییرات آشکار خواهد شد. دانشمندان پیش‌بینی می‌کنند که حتی اگر همین امروز سوزاندن سوخت‌های فسیلی را متوقف کنیم، چندین قرن طول می‌کشد تا مقدار $CO_2$ به مقادیر قبل از انقلاب صنعتی برسد، چنین چیزی بسیار بعید است؛ بنابراین ضروری است که همگی ما در مورد اثرات تغییر آب و هوای جهانی بر روی زمین و جمعیت‌های آن آگاهی یابیم. عملکرد ما باید به عنوان یک مهماندار بر روی سیاره زمین باشد؛ بایستی سخت بکوشیم تا راه‌هایی برای حل این مشکل پیدا کنیم.

### موضوع ۳: حیات به انتقال و تبدیل انرژی نیاز دارد

همان‌طور که در شکل ۵-۱ دیدید، برگ‌های درخت نور خورشید را جذب می‌کنند. ورود انرژی خورشید، حیات را ممکن می‌سازد. یکی از ویژگی‌های اساسی موجودات زنده، استفادهٔ آنها از انرژی برای انجام اعمال حیاتی است. حرکت، رشد، تولید مثل و سایر فعالیت‌های حیاتی، کار محسوب می‌شوند. کار به انرژی احتیاج دارد. موجودات برای زندگی کردن، اغلب حالتی از انرژی را به حالت دیگر تبدیل می‌کنند. مولکول‌های کلروفیل درون برگ‌های درخت انرژی نور خورشید را به دام انداخته و با استفاده از آن فتوسنتز را پیش می‌برند، دی‌اکسید کربن و آب را به قند و اکسیژن تبدیل می‌کنند. سپس انرژی شیمیایی موجود در قند توسط گیاهان و سایر موجودات فتوسنتز کننده (تولید کننده‌ها) به مصرف کننده‌ها داده می‌شود. مصرف کننده‌ها، مانند جانوران، موجوداتی هستند که از تولید کننده‌ها و سایر مصرف کننده‌ها تغذیه می‌کنند (شکل ۶a-۱).




**a)** شارش انرژی از نور خورشید به تولید کننده‌ها و سپس به مصرف کننده‌ها

**b)** مصرف انرژی برای انجام‌کار

▲ **شکل ۶-۱** **شارش انرژی در یک اکوسیستم.** *این میمون قرمز Colobus در معرض خطر، در تانزانیا زندگی می‌کند.*

سلول‌های عضلانی حیوانات با استفاده از قند به عنوان سوخت حرکات را انجام می‌دهند، انرژی شیمیایی را به انرژی جنبشی (انرژی حرکتی) تبدیل می‌کنند (شکل b۶-۱). سلول‌های موجود در برگ در طی رشد برگ با استفاده از قند فرایند تکثیر سلولی را پیش می‌برند، انرژی شیمیایی ذخیره شده را به کار سلولی تبدیل می‌کنند. در هر دو مورد، مقداری از انرژی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود، که به صورت گرما به اطراف پراکنده می‌شود. برخلاف مواد غذایی شیمیایی که درون اکوسیستم بازیافت می‌شوند، انرژی در طول اکوسیستم جریان می‌یابد؛ معمولاً به صورت نور وارد شده و به صورت گرما خارج می‌شود.

**موضوع ٤: ساختار و عملکرد در تمامی سطوح نظام زیستی با یکدیگر همبستگی دارند**

موضوع دیگری که در شکل ۴-۱ قابل مشاهده می‌باشد این نگرش است که ساختار با عملکرد متناسب است، مطلبی که شما هر روزه در زندگی با آن سروکار دارید. برای مثال، یک پیچ‌گوشتی برای سفت یا شل کردن پیچ به‌کار می‌رود و یک چکش برای کوبیدن میخ. کار یک وسیله چگونه به شکل آن مرتبط است؟ درخصوص زیست‌شناسی، این موضوع مربوط به آناتومی حیات در تمامی سطوح ساختاری آن است. مثالی از شکل ۴-۱ در برگ دیده می‌شود؛ شکل پهن و تخت آن باعث می‌شود تا حداکثر نور خورشید توسط کلروفیل‌های آن دریافت شود. تجزیه و تحلیل یک ساختار زیستی به ما سرنخ‌هایی در مورد چگونگی عملکرد آن می‌دهد. برعکس، دانستن چگونگی عملکرد می‌تواند اطلاعاتی در مورد ساختار به ما بدهد. به‌عنوان مثال در جانوران، بال یک پرنده مثال جالبی در مورد ساختار و عملکرد است (شکل ۷-۱). در هنگام بررسی حیات در سطوح ساختاری متفاوت می‌توان زیبایی‌های مسائل مربوط به عملکرد را دید.

**موضوع ۵: سلول‌ها واحد پایه‌ایِ ساختار و عملکرد در جانداران هستند**

در طبقه‌بندی حیات، سلول جایگاه خاصی را به‌عنوان پایه‌ای‌ترین سطح در این طبقه‌بندی دارد که توانایی انجام تمامی فعالیت‌های زیستی را داراست. درواقع، فعالیت جانداران برپایهٔ فعالیت سلول‌های آنهاست. برای مثال، فرایند تقسیم سلولی برای تولید سلول‌های جدید، پایه‌ای برای تولیدمثل، رشد و ترمیم جانداران پرسلولی به‌شمار می‌رود. مثالی دیگر در این زمینه، حرکت چشمان شما در حین مطالعهٔ سطرهای این صفحه، نتیجهٔ همکاری بین عضلات و اعصاب است. حتی فرایندی مثل چرخهٔ کربن نیز جزو فعالیت‌های سلولی، ازجمله فتوسنتز است که در کلروپلاست‌های سلول‌های برگ انجام می‌شود. تمرکز اصلی تحقیقات زیست‌شناسی برروی چگونگی عملکرد سلول‌هاست.

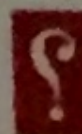
تمامی سلول‌ها دارای خصوصیاتی مشترک هستند. برای مثال، تمامی سلول‌ها با غشایی احاطه می‌شوند که عبور و مرور مواد را بین سلول و محیط خارج کنترل می‌کند. و تمامی سلول‌ها برای انتقال اطلاعات ژنتیکی از مولکول DNA استفاده می‌کنند. اما می‌توان سلول‌ها را به دو گروه عمده تقسیم کرد: سلول‌های *پروکاریوت* و *سلول‌های یوکاریوت*. سلول‌های میکروارگانیسم‌هایی که در دو گروه باکتری‌ها و آرکی‌باکترها قرار دارند، پروکاریوت هستند، و تمامی انواع سلول‌های دیگر، از جمله جانوران و گیاهان، یوکاریوت محسوب می‌شوند.



a) بال‌های پرنده از نظر آیرودینامیکی شکل کارآمدی دارند.

b) استخوان‌های بال ساختار داخلی کندو مانندی دارند که قوی، ولی سبک هستند.

▲ **شکل ۷-۱ شکل بال مرغ دریایی با عملکرد آن مطابقت دارد.** *(a) شکل بال‌های پرنده و (b) ساختار استخوان‌های آن پرواز را برایش ممکن می‌سازد.*



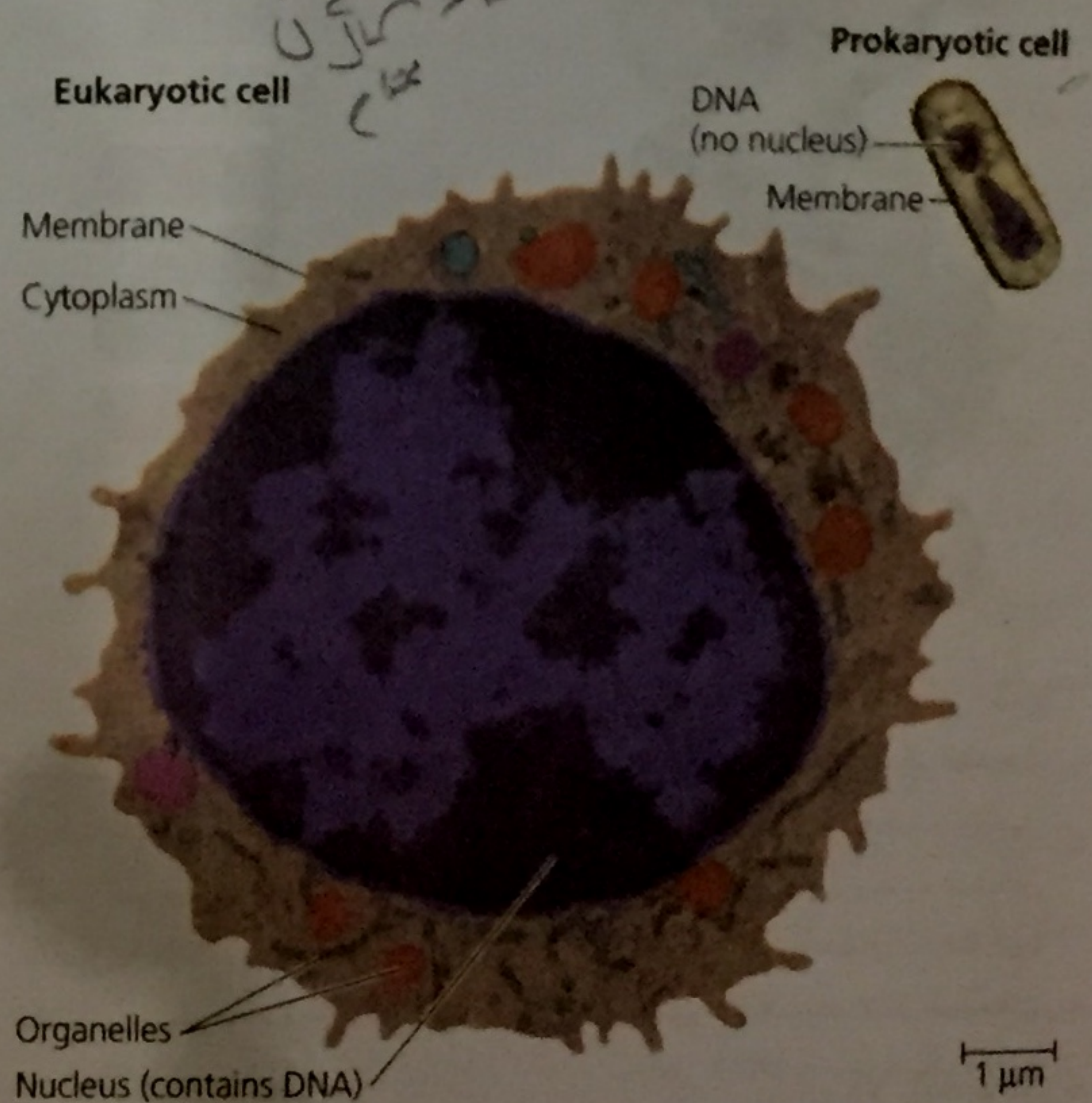
**چگونه در دست انسان، شکل با عملکرد مطابقت دارد؟**

یک **سلول یوکاریوت** توسط غشاهای درونی به اندامک‌های مختلفی که توسط غشا احاطه شده‌اند، بخش‌بندی می‌شود؛ همانند آنچه در **شکل ۸-۱** می‌بینید و یا کلروپلاستی که در شکل ۴-۱ دیدید. در بیشتر سلول‌های یوکاریوت، بزرگ‌ترین اندامک هسته است که حاوی DNAی سلول می‌باشد. سایر اندامک‌ها در سیتوپلاسم قرار دارند. سیتوپلاسم، کل ناحیهٔ بین هسته و غشای سلول است. همان‌طورکه در شکل ۸-۱ می‌بینید، **سلول‌های پروکاریوتی** بسیار ساده‌تر و عموماً کوچک‌تر از سلول‌های یوکاریوتی هستند. در سلول‌های پروکاریوتی، DNA از سایر اجزای سلولی توسط غشای هسته جدا نشده است. همچنین سلول‌های پروکاریوتی اندامک‌های غشاداری را که در سلول‌های یوکاریوتی ذکر کردیم، ندارند. جاندار، چه از سلول‌های یوکاریوتی تشکیل شده باشد چه پروکاریوتی، ساختار و عملکرد آن بسته به سلول‌های سازندهٔ آن است.

### موضوع ۶: ادامهٔ حیات وابسته به انتقال اطلاعات وراثتی به‌صورت DNA است

در درون سلول‌هایی که در **شکل ۹-۱** درحال تقسیم شدن هستند، ساختارهایی به‌نام کروموزوم را می‌بینید که با رنگ آبی رنگ‌آمیزی شده‌اند. کروموزوم‌ها تقریباً دارای تمامی محتوای ژنتیکی سلول، یعنی DNA هستند (مخفف Deoxyribonucleic acid).

DNA مادهٔ سازندهٔ **ژن‌ها**ست، یعنی واحدهای وراثتی که از والدین به فرزندان به ارث می‌رسند. برای مثال گروه خونی شما (A، B، AB، یا O) نمونه‌ای از ژن‌های خاصی است که شما از والدین خود به ارث برده‌اید.

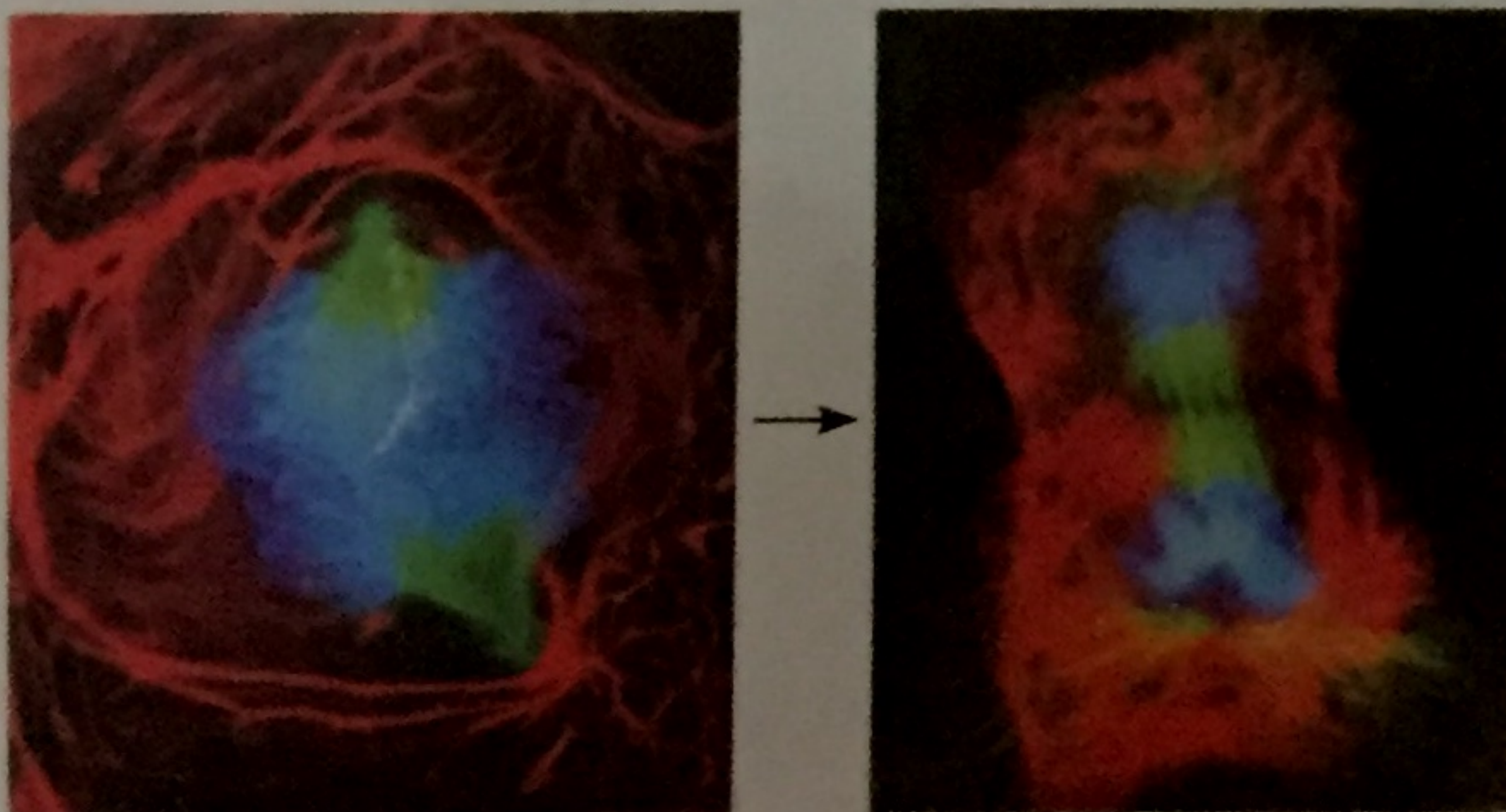



▲ **شکل ۸-۱** مقایسهٔ سلول‌های یوکاریوتی و پروکاریوتی از نظر اندازه و پیچیدگی.

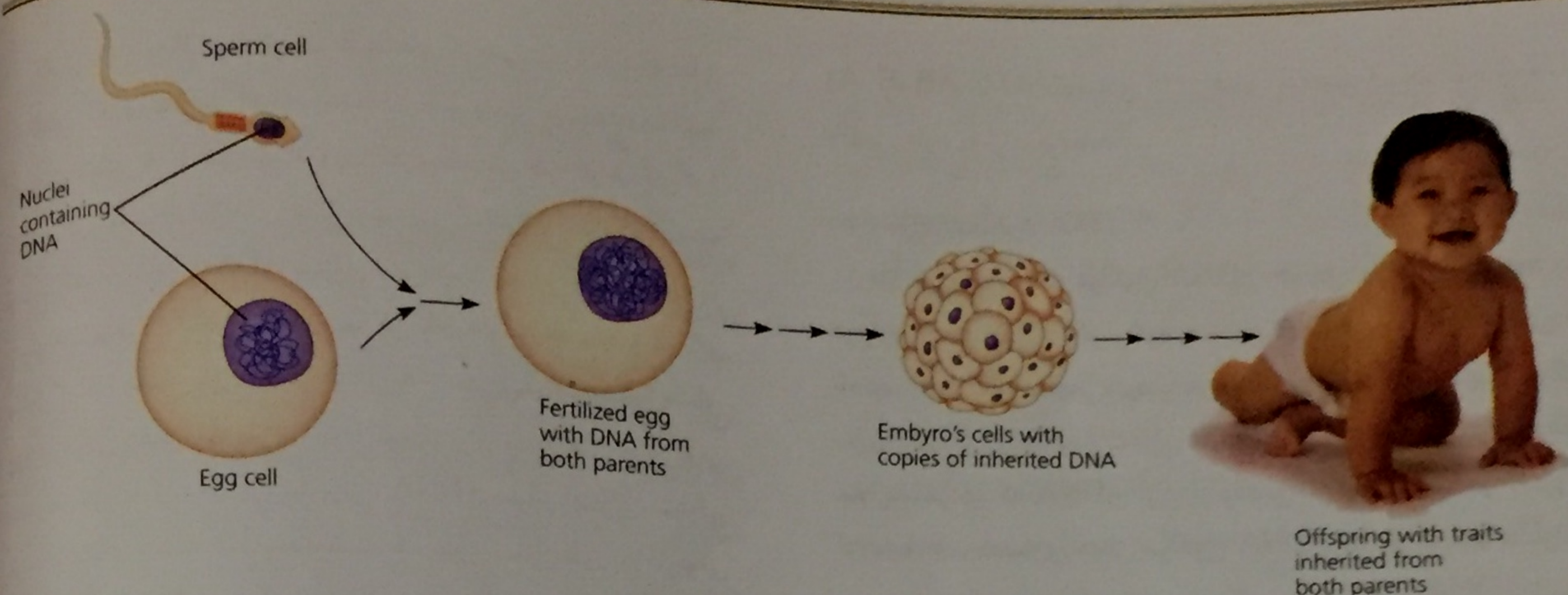
### ساختار و عملکرد DNA

هر کروموزوم، یک مولکول DNAی طویل دارد که صدها یا هزاران ژن در طول آن قرار گرفته است. DNAی کروموزوم قبل از تقسیم سلول مضاعف می‌شود و به هریک از سلول‌های حاصل یک سری کامل از ژن‌ها، به ارث می‌رسد. هر یک از ما حیات را از یک سلول منفردی که DNAی آن‌را از والدین‌مان به ارث بردیم، شروع کرده‌ایم. همانندسازی همان مولکول DNA با هر بار تقسیم سلولی موجب شد تا همهٔ سلول‌های ما یک سری کامل DNA داشته باشند. در هر سلول، ژن‌ها که در طول مولکول DNA قرار دارند اطلاعاتی را در مورد ساخته شدن مولکول‌های دیگری در سلول رمز می‌کنند. بدین ترتیب، DNA رشد و بقای جاندار و به‌طور غیرمستقیم هر کاری که جاندار می‌کند را تحت کنترل دارد (**شکل ۱۰-۱**). DNA به‌عنوان یک مرجع مرکزی است.

ساختار مولکولی DNA به آن این امکان را می‌دهد تا اطلاعات را ذخیره کند. هر مولکول DNA از دو رشتهٔ طویل که به دور هم پیچ خورده‌اند تشکیل شده است. اجزاء تشکیل‌دهندهٔ هر رشته، از چهار نوع واحد ساختاری شیمیایی به‌نام نوکلئوتید تشکیل شده است (**شکل ۱۱-۱**). DNA همان‌گونه اطلاعات را رمز می‌کند که ما برای ساختن کلمات، حروف را کنار هم قرار می‌دهیم. برای مثال لغت rat به معنای موش است. لغت tar نیز از همین سه حرف تشکیل شده ولی معنای این دو کلمه بسیار متفاوت است (قیر = tar). کتابخانه‌ها پر از کتاب‌هایی (به زبان انگلیسی) هستند که در آن اطلاعات،




▲ **شکل ۹-۱** یک سلول شُش مربوط به سمندر آبی به دو سلول کوچک‌تر تقسیم می‌شود که آنها خود رشد کرده و مجدداً تقسیم می‌شوند.



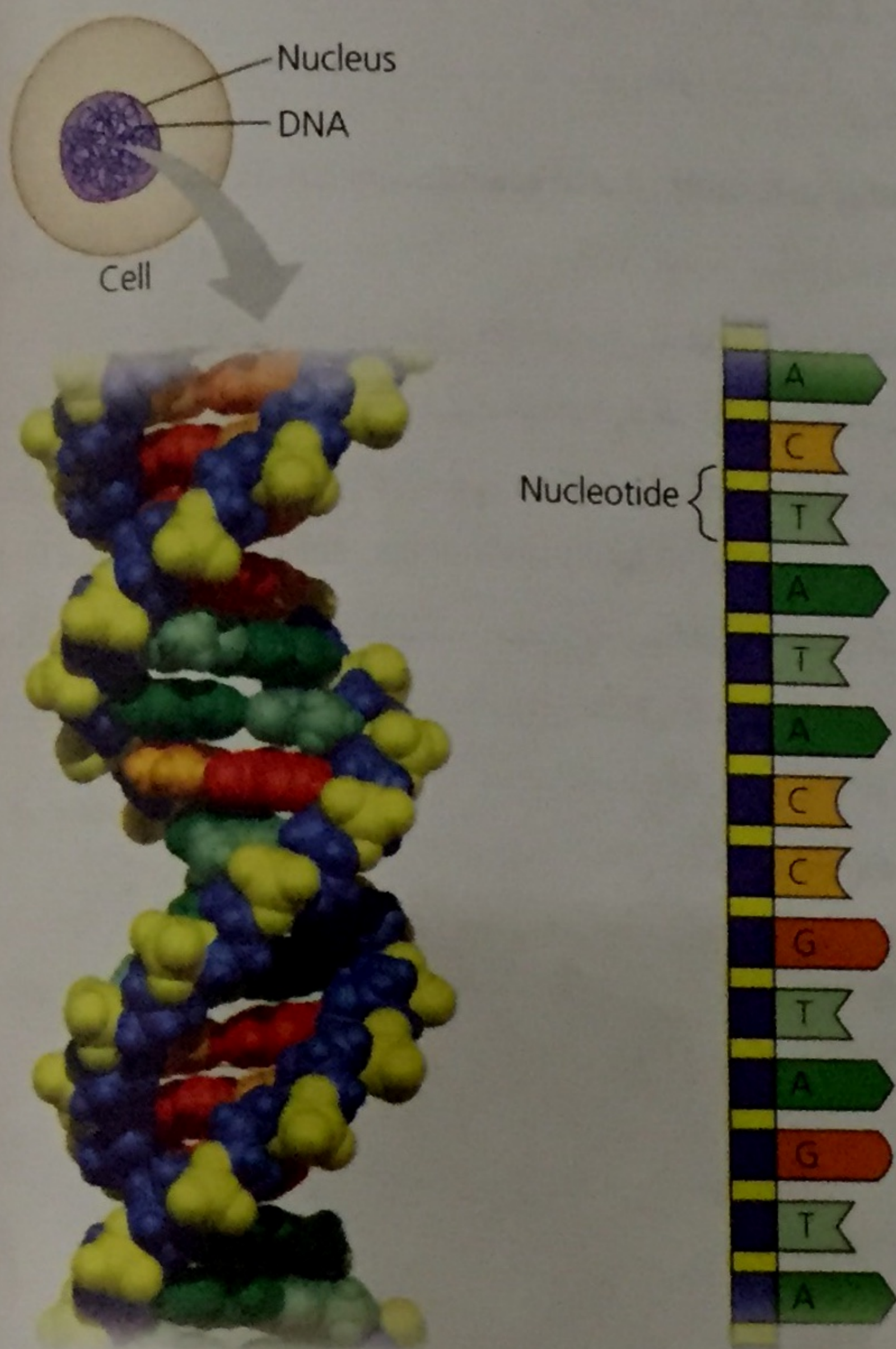

▲ **شکل ۱۰-۱ DNAی به ارث رسیده، تکوین جاندار را هدایت می‌کند.**

به‌صورت توالی‌های متغیری از ۲۶ حرف رمز شده است. نوکلئوتیدها را می‌توان به‌عنوان الفبای وراثت درنظر گرفت. ترتیب قرارگیری خاص این چهار حرف شیمیایی، اطلاعات خاصی را در هر ژن رمز می‌کند که هر کدام از صدها تا هزاران نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. یک ژن در باکتری ممکن است ساخت قسمتی خاص از غشا را رمز کند. یک ژن خاص در انسان ممکن است به معنای ساخت هورمون رشد باشد.

ژن‌ها غالباً تولید مولکول‌های بزرگی به‌نام پروتئین‌ها را در سلول برنامه‌ریزی می‌کنند. سایر پروتئین‌های انسانی شامل پروتئین‌های انقباضی و پروتئین‌های دفاعی، که پادتن نام دارند، می‌شود. نوع دیگری از پروتئین که در تمامی سلول‌ها وجود دارد آنزیم نامیده می‌شود. آنزیم‌ها واکنش‌های شیمیایی را کاتالیز می‌کنند (سرعت می‌بخشند). بنابراین DNA به‌عنوان راهنما و پروتئین‌ها به‌عنوان وسیله‌ای برای حفظ بقا و رشد سلول هستند.

DNAی ژن‌ها با استفاده از RNA به‌عنوان یک مولکول حدواسط، ساخت پروتئین‌ها را کنترل می‌کند. ترتیب نوکلئوتیدها در ژن به RNA رونویسی می‌شود که خود به یک پروتئین خاص با شکل و عملکردی خاص ترجمه خواهد شد. در فرایند ترجمه، تمامی اشکال حیات از یک رمز ژنتیکی استفاده می‌کنند. یک ترتیب خاص از نوکلئوتیدها، معنی یکسانی در همهٔ جانداران دارد. تفاوت‌های موجود در میان جانداران، حاصل تفاوت در ترتیب نوکلئوتیدهای آنهاست.

تمام RNAهای موجود در سلول به پروتئین ترجمه نمی‌شوند. این مطلب از دهه‌های گذشته روشن شده بود که برخی از انواع مولکول‌های RNA به‌عنوان اجزایی از دستگاه تولید پروتئین استفاده می‌شوند. اخیراً محققان دسته‌های کاملاً جدیدی از RNA را یافته‌اند که نقش‌های متفاوتی را در سلول ایفا می‌کنند؛ مثل تنظیم عملکرد ژن‌های رمزکنندهٔ پروتئین‌ها.




**(a) مارپیچ مضاعف DNA.** این طرح اتم‌های موجود در یک قطعه از DNA را نشان می‌دهد. مولکول DNA از دو زنجیرهٔ بلند تشکیل شده است که واحدهای سازندهٔ آنها نوکلئوتیدها هستند. شکل سه‌بعدی مولکول DNA به صورت یک مارپیچ مضاعف است.

**(b) تک رشتهٔ DNA.** این اشکال هندسی و حروف، علائم ساده‌ای هستند که نوکلئوتیدهای موجود در قطعهٔ کوچکی از یک زنجیره از مولکول DNA را نشان می‌دهند. اطلاعات ژنتیکی به صورت توالی‌های خاصی از چهار نوع نوکلئوتید رمز می‌شوند. (نام نوکلئوتیدها به صورت A، T، C و G خلاصه می‌شود.)

▲ **شکل ۱۱-۱ DNA به عنوان مادهٔ ژنتیکی.**

کل «کتابخانهٔ» ژنتیکی که جاندار از والدینش به ارث می‌برد (genome) نام دارد. یک سلول انسان، دو دستهٔ کروموزومی به دارد و مولکول‌های DNAی موجود در هر سری، نزدیک به میلیارد نوکلئوتید دارند. اگر هر یک از این نوکلئوتیدها را به منزلهٔ حرف و در اندازهٔ حروف این کتاب درنظر بگیریم، با این تعداد کلئوتید، ۶۰۰ کتاب در اندازهٔ همین کتاب چند جلدی خواهید شت! در این کتابخانهٔ ژنومی از توالی‌های نوکلئوتیدها، ژن‌های حدود ۷۵,۰۰۰ نوع پروتئین و تعدادی مولکول‌های RNAی شناخته وجود دارد.

### ژنومیکس: *آنالیز در مقیاس بزرگِ توالی‌های DNA*

کل کتابخانهٔ اطلاعات ژنتیکی که یک موجود به ارث می‌برد **ژنوم** نامیده می‌شود. یک سلول معمولی انسانی دو سری کروموزوم مشابه دارد، و هر سری کروموزومی جمعاً حدود ۳ میلیارد جفت نوکلئوتید دارد. اگر یک حرف مخفف یک نوکلئوتید باشد و نوکلئوتیدهای یک رشته به تعداد حروف این کتاب نوشته می‌شدند، متن ژنتیکی حدود ۶۰۰ کتاب به اندازهٔ کتاب کمپبل می‌شد. در این کتابخانهٔ ژنومیکی از توالی‌های نوکلئوتیدی، ژن‌های حدود ۷۵۰۰۰ نوع پروتئین و تعدادی مولکول RNAی ناشناخته وجود دارد که پروتئین‌ها را کد نمی‌کنند.

از اوایل دهه ۱۹۹۰، سرعت توالی‌یابی ژنوم‌ها با سرعتی تقریباً باور نکردنی افزایش یافته است، که به دلیل یک انقلاب در فناوری است؛ ظهور روش‌ها و دستگاه‌های توالی‌یابی DNAی جدید، مانند آنچه در شکل ۱۲-۱ نشان داده شده است، منجر به این دستاورد مهم گردیده است. در حال حاضر کل توالی نوکلئوتیدهای ژنوم انسان به همراه توالی‌های ژنومی بسیاری از موجودات دیگر، از جمله، باکتری‌ها، آرکی‌ها، قارچ‌ها، گیاهان، و سایر حیوانات، شناخته شده است.

توالی‌یابی ژنوم انسان به عنوان یک دستاورد علمی و فنی به اندازهٔ فرود فضانوردان *آپولو* بر سطح ماه، در سال ۱۹۶۹، حائز اهمیت است. اما این تنها شروع تحقیقی بزرگ‌تر بود، تلاشی برای فهم اینکه چگونه فعالیت هزاران پروتئینی که توسط DNA کد می‌شوند، در سلول‌ها و کل بدن موجودات با هم هماهنگ می‌شوند. دانشمندان برای اینکه از سیل اطلاعات حاصل از طرح‌های توالی‌یابی ژنوم و کاتالوگ روبه‌رشد اعمال پروتئین‌ها سر درآورند، به جای اینکه در یک زمان یک ژن منفرد بررسی شود کل مجموعه‌های ژنی یک گونه را مطالعه کردند و ژنوم‌های گونه‌ها را با هم مقایسه نمودند — این دستاورد **ژنومیکس** نامیده می‌شود.

با آنکه ایدهٔ پایه‌ای زیست‌شناسی سیستم‌ها ساده به نظر می‌رسد اما در عمل بسیار مشکل است، چنان‌چه شما نیز از پیچیدگی سیستم‌های زیستی، چنین انتظاری داشتید. برای قابل دسترس کردن زیست‌شناسی سیستم‌ها سه پیشرفت تحقیقاتی کلیدی انجام گرفته است. (۱) تکنولوژی با «**بازده بالا**»، ابزارهایی که می‌توانند مواد زیستی را به سرعت آنالیز کرده و مقادیر زیادی اطلاعات تولید کنند. دستگاه‌های خودکار توالی‌یاب DNA که توالی‌یابی ژنوم انسان را ممکن ساختند نمونه‌ای از این وسایل با بازده بالا هستند (شکل ۱۲-۱). (۲) **بیوانفورماتیک**؛ که با استفاده از ابزارهای کامپیوتری اطلاعات بسیار زیاد حاصل از روش‌های با بازده بالا را ذخیره، سازمان‌دهی و تحلیل می‌کنند. (۳) پیشرفت کلیدی سوم، تشکیل *تیم‌های تحقیقاتی* **بین شاخه‌ای** است، ترکیبی از چندین متخصص شامل دانشمندان علم کامپیوتر، ریاضی‌دانان، مهندسین، شیمی‌دانان، فیزیک‌دانان و بالاخره زیست‌شناسان شاخه‌های مختلف.

### موضوع ۷: مکانیسم‌های بازخوردی (Feedback)، سیستم‌های زیستی را تنظیم می‌کنند

نوعی از رابطهٔ عرضه ـ تقاضای اقتصادی در بسیاری از سیستم‌های زیستی مشاهده می‌شود. برای مثال ماهیچه‌های خود را در نظر بگیرید. زمانی که سلول‌های ماهیچه‌ای شما در طی فعالیت به میزان انرژی بیشتری نیاز دارند، مصرف مولکول‌های قند خود را که فراهم‌کنندهٔ سوخت است، افزایش می‌دهند. در عوض زمانی که شما استراحت می‌کنید واکنش‌های شیمیایی متفاوتی، قند اضافی را به‌صورت مولکول‌های ذخیره‌ای در می‌آورند.

همانند بیش‌تر فرایندهای شیمیایی سلول، آن دسته از واکنش‌هایی که موجب ذخیره یا تجزیهٔ مولکول‌های قند می‌شوند توسط گروه خاصی از پروتئین‌ها به‌نام *انزیم‌ها* کاتالیز می‌شوند. هر آنزیم یک نوع واکنش خاص را کاتالیز می‌کند. در بسیاری از



▲ **شکل ۱۲-۱ زیست‌شناسی، به‌عنوان یک علم اطلاعاتی.** *دستگاه‌های خودکار توالی‌یاب DNA و کامپیوترها، توالی‌یابی ژنوم‌ها را ممکن می‌کنند امکانات واقع در شکل مربوط به Walnut Creek در بخشی از مؤسسهٔ ژنوم کالیفرنیا Joint می‌باشد.*

موارد، این واکنش‌ها در مسیرهای شیمیایی باهم ارتباط می‌یابند که هر مرحله توسط آنزیمی خاص کاتالیز می‌شود. سلول چگونه این مسیرهای متنوع شیمیایی را هماهنگ می‌کند؟ در مثال ما در مورد مدیریت قند، سلول چگونه میزان سوخت خود را با میزان نیازش منطبق می‌سازد و مسیرهای تولید قند و ذخیرهٔ آن را با یکدیگر هماهنگ می‌کند؟ کلید این موضوع، قابلیت بسیاری از فرایندهای زیستی برای خودتنظیمی به‌وسیلهٔ مکانیسمی به‌نام *بازخورد* است.

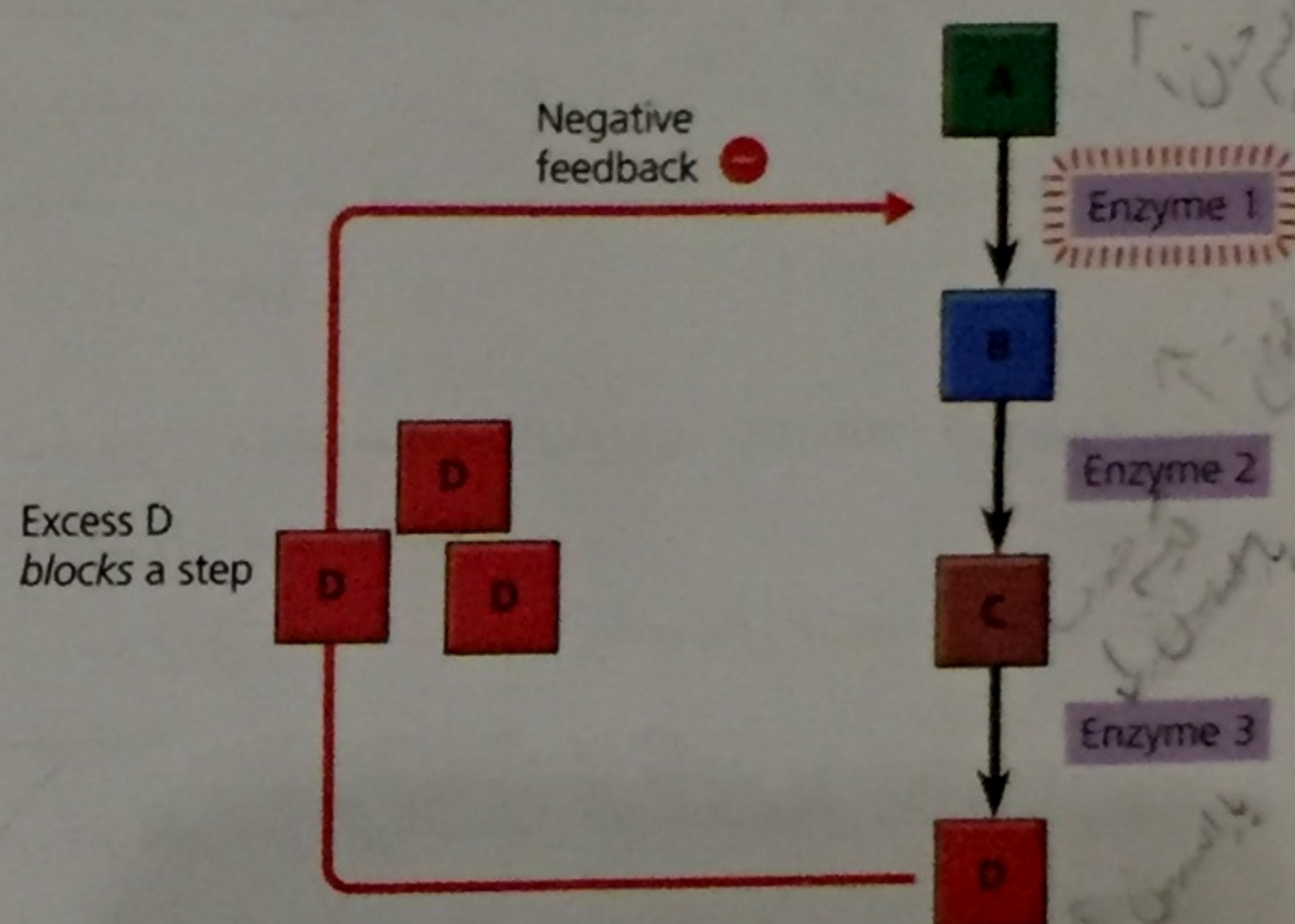
در تنظیم بازخوردی (فیدبکی)، محصول یک فرایند، خود آن فرایند را تنظیم می‌کند. در حیات، خودتنظیمی بیشتر به‌صورت **خودتنظیمی منفی** است، به‌طوری‌که تجمع محصول نهایی فرایند، موجب کاهش سرعت آن فرایند می‌شود. برای مثال، شکسته شدن مولکول‌های قند در سلول موجب تولید انرژی شیمیایی در قالب ماده‌ای به‌نام ATP می‌شود. زمانی‌که سلول بیشتر از حد نیاز خود ATP تولید می‌کند، این میزان ATP زیادی، بازخورد منفی ایجاد می‌کند و آنزیمی که در ابتدای مسیر قرار دارد را مهار می‌کند (**شکل ۱۳a-۱**).

در طبیعت فرایندهایی نیز توسط **خودتنظیمی مثبت** تنظیم می‌شوند، به‌طوری‌که محصول نهایی، تولید خودش را افزایش می‌دهد (**شکل ۱۳b-۱**). برای مثال می‌توان به لخته‌شدن خون اشاره کرد. زمانی‌که یک رگ خونی آسیب می‌بینند ساختارهایی در خون به‌نام پلاکت‌ها شروع به تجمع می‌کنند. خودتنظیمی مثبت توسط مواد شیمیایی که به‌وسیلهٔ پلاکت‌ها آزاد شده است رخ می‌دهد و موجب جذب تعداد بیشتری از پلاکت‌ها می‌گردد. سپس این تودهٔ پلاکتی فرایند پیچیده‌ای را آغاز می‌کند که موجب پوشیده شدن زخم با لخته می‌شود.

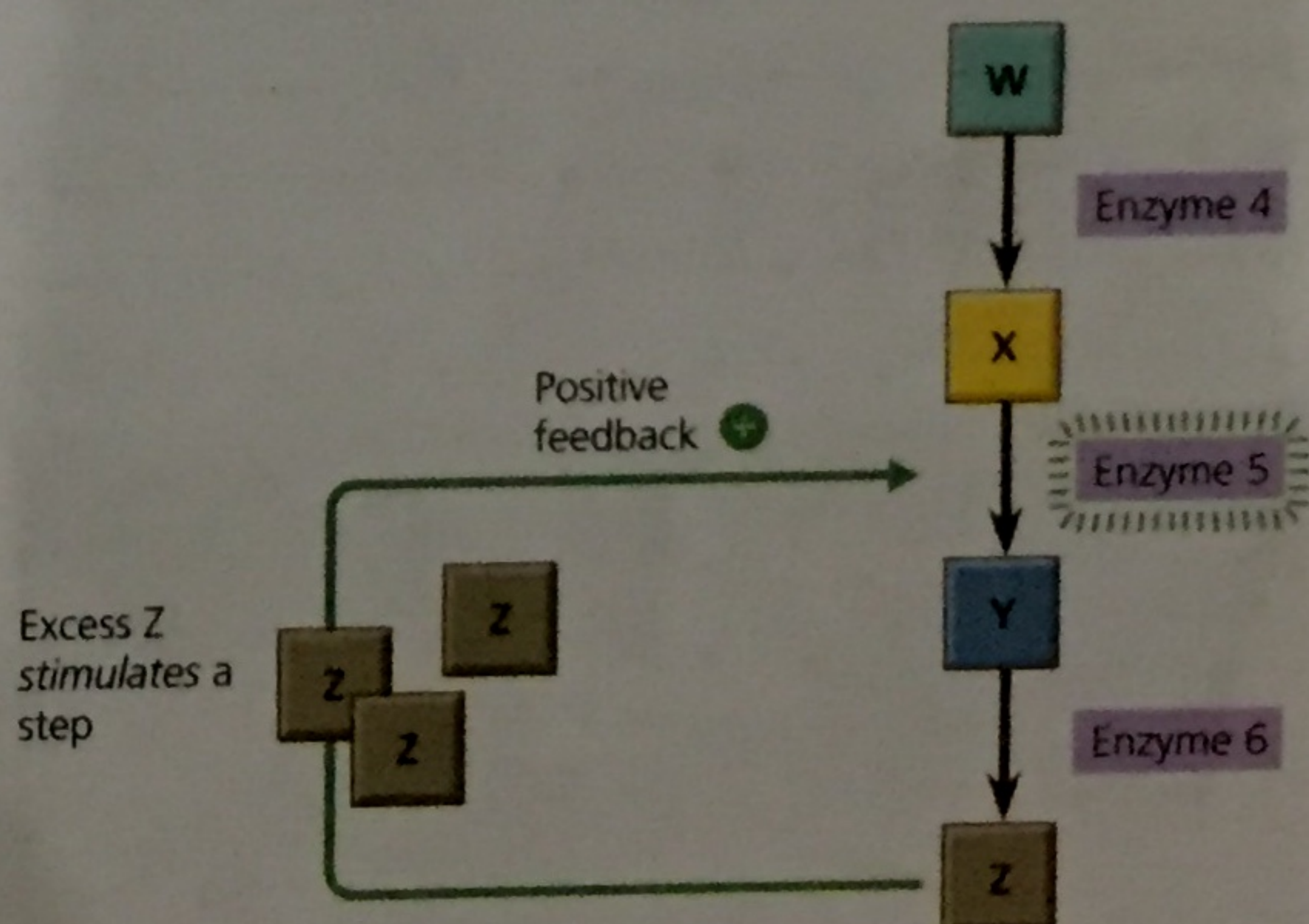
بازخورد (فیدبک)، یک فرایند تنظیمی شایع در تمامی سطوح حیات است؛ از سطح مولکولی تا اکوسیستم و حتی بیوسفر. این تنظیم‌ها مثال‌هایی از یکپارچگی هستند که سیستم‌های زنده را بسیار بزرگ‌تر از مجموع بخش‌هایش می‌سازند.

### تکامل و سیطرهٔ آن بر مفاهیم زیست‌شناسی

تکامل موضوع اصلی زیست‌شناسی است - ایده‌ای که به ما کمک می‌کند تا مفاهیمی را که در مورد جانداران زنده می‌دانیم توجیه کنیم. حیات چندین میلیارد سال پیش برروی زمین آغاز شد و موجب پیدایش گونه‌های متفاوتی از جانداران گردید. صرف نظر از تنوع، می‌توانیم بسیاری از ویژگی‌های مشترک را در آنها دریابیم. برای مثال، با آنکه اسب آبی، خرگوش، مرغ مگس‌خوار، کروکودیل و زرافه‌ای که در شکل ۳-۱ دیدیم از لحاظ ظاهری بسیار با هم متفاوت هستند، اما شکل اسکلت آنها تقریباً یکسان است. توجیه علمی برای این وحدت و تنوع - و همچنین مناسب بودن هر جاندار برای محیط‌زیست خودش - *تکامل* است؛ ایده‌ای که بیان می‌دارد جاندارانی که امروز برروی زمین زندگی می‌کنند زاده‌هایی از یک نیای مشترک هستند. به عبارت دیگر، وجود صفات مشترک بین دو جاندار را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که آنها از یک نیای مشترک مشتق شده‌اند و تفاوت‌های آنها را نیز می‌توان این‌طور توجیه کرد که به‌علت تغییرات وراثتی در طول زمان ایجاد شده‌اند. شواهد زیادی دال بر وقوع تکامل و تئوری آن وجود دارد. پس از پرداختن به برخی دیگر از مفاهیم زیستی و ترسیم چهرهٔ کامل‌تری از آن، دوباره در همین فصل به مبحث تکامل برمی‌گردیم.




**(a) بازخورد منفی.** این مسیر شیمیایی سه‌مرحله‌ای، مادهٔ A را به مادهٔ D تبدیل می‌کند. هر یک از واکنش‌های شیمیایی توسط آنزیم به‌خصوصی کاتالیز می‌شود. تجمع محصول نهایی (D)، اولین آنزیم مسیر را مهار می‌کند، بنابراین سرعت تولید مادهٔ D کاهش می‌یابد.




**(b) بازخورد مثبت.** در یک مسیر شیمیایی که توسط بازخورد مثبت تنظیم می‌شود، یک محصول، یکی از آنزیم‌های مسیر را تحریک کرده و سرعت تولید آن محصول را افزایش می‌دهد.

▲ **شکل ۱۳-۱ تنظیم به‌وسیلهٔ مکانیسم‌های بازخورد.**

**؟ اگر آنزیم ۲ از دست برود، برای سیستم بازخورد چه اتفاقی خواهد افتاد؟**

## پرسش‌های مبحث ۱-۱

۱. برای هر یک از سطوح زیستی که در شکل ۱-۴ مشاهده می‌کنید جمله‌ای بنویسید که در آن سطح پائین‌تر زیستی وجود داشته باشد. *برای مثال:* جامعه شامل جمعیت‌هایی از گونه‌های مختلف است که در یک مکان خاص زندگی می‌کنند.

۲. چه موضوعاتی را از مطالب زیر درک می‌کنید؟ (a) تیغ‌های تیز جوجه‌تیغی (b) کلون شدن درخت از یک سلول منفرد (c) مرغ مگس‌خوار از قند به‌عنوان سوخت برای پرواز استفاده می‌کند.

۳. **چه می‌شد اگر؟** برای هر یک از موضوعاتی که در این قسمت مطرح شد مثالی بزنید که در کتاب وجود نداشته باشد.

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

## ۲-۱ مطلب اساسی: تکامل، علت وجود وحدت و تنوع در حیات است

**تکامل** فهرست موضوعات زیستی که در مبحث ۱-۱ بحث کردیم غیرقابل تغییر نیست و ممکن است بتوان لیست‌های طولانی‌تر یا کوتاه‌تر و کاربردی‌تری تهیه کرد. اما در مورد مطلب اصلی زیست‌شناسی در بین زیست‌شناسان، تفاهم وجود دارد: **تکامل**. یکی از بزرگان پایه‌گذار تئوری تکامل تئودسیوس دوبژانسکی (Theodosius Dobzhansky) می‌گوید: «هیچ مطلبی در زیست‌شناسی جز در زیر نور تکامل معنا پیدا نمی‌کند».

زیست‌شناسی به بررسی گونه‌های بسیار متفاوتی که تاکنون بر روی زمین زندگی کرده‌اند، می‌پردازد. برای فهمیدن منظور دوبژانسکی، باید در مورد چگونگی تفکر زیست‌شناسان دربارهٔ این گوناگونی بحث کرد.

### طبقه‌بندیِ گوناگونی حیات

گوناگونی یکی از خصوصیات حیات است. زیست‌شناسان تاکنون حدود ۱/۸ میلیون نوع گونه را نام‌گذاری کرده‌اند. این گوناگونی حیات شامل حداقل ۶,۳۰۰ گونهٔ پروکاریوتی (جاندارانی با سلول‌های پروکاریوتی)، ۱۰۰,۰۰۰ گونه قارچ، ۲۹۰,۰۰۰ گونه گیاه، ۵۲,۰۰۰ گونه مهره‌دار (جانورانی که ستون مهره دارند) و یک میلیون گونه حشره می‌باشد. محققان هر ساله هزاران گونه را به این لیست اضافه می‌کنند. محاسبهٔ تقریبی تعداد گونه‌ها در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ میلیون است. این عدد به هر مقدار که باشد، گوناگونی بسیار زیاد حیات موجب شده تا زیست‌شناسی گسترهٔ وسیعی داشته باشد. زیست‌شناسان، درگیر چالشی بزرگ برای فهم این گوناگونی هستند (شکل ۱۴-۱).




▲ **شکل ۱۴-۱ طبقه‌بندی حیات.** *برای کمک به بررسی تنوع حیات، زیست‌شناسان گونه‌ها را گروه‌بندی می‌کنند که این گروه‌ها نیز با هم ترکیب شده و گروه‌های بزرگ‌تری را می‌سازند. در سیستم سنتی لینه، گونه‌هایی که بسیار به هم نزدیک هستند، مثل خرس قطبی و خرس قهوه‌ای، در یک سرده قرار می‌گیرند؛ سرده‌ها در درون تیره‌ها (خانواده‌ها) گروه‌بندی می‌شوند و به همین ترتیب گروه‌ها بزرگ‌تر و بزرگ‌تر می‌شوند. این مثالی از طبقه‌بندی* ***Ursus americanus***، *خرس قهوه‌ای آمریکاست.*

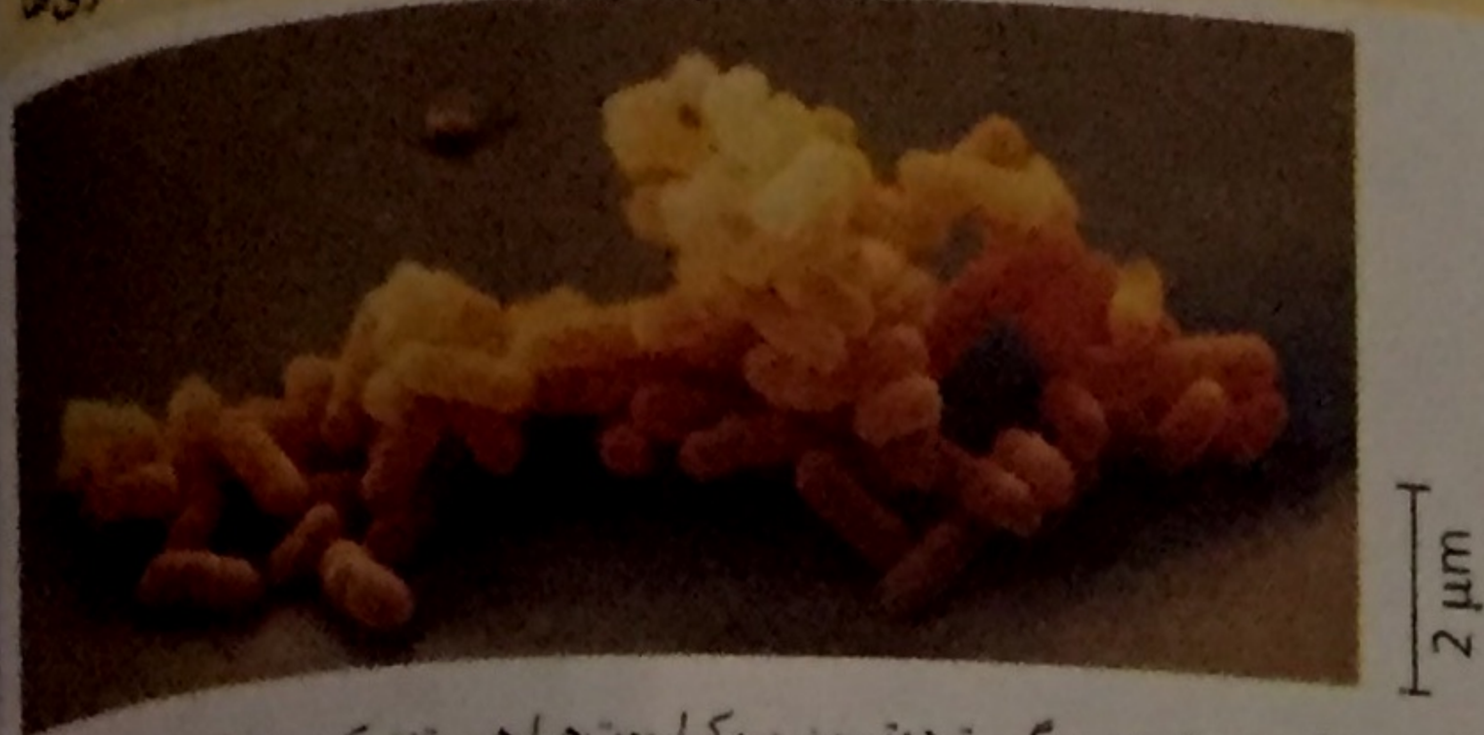
## ▼ شکل ۱۵-۱ سه قلمرو حیات

**(b) قلمرو آرکی‌آ**




بسیاری از پروکاریوت‌هایی که به‌عنوان آرکی‌آ شناخته می‌شوند در محیط‌های افراطی مثل دریاچه‌های نمک و یا چشمه‌های جوشان زندگی می‌کنند. در قلمرو آرکی‌آ چند فرمانرو قرار دارد. هر ساختار دایره‌ای در این شکل، یک سلول آرکی‌آ است.

**(a) قلمرو باکتری‌ها**

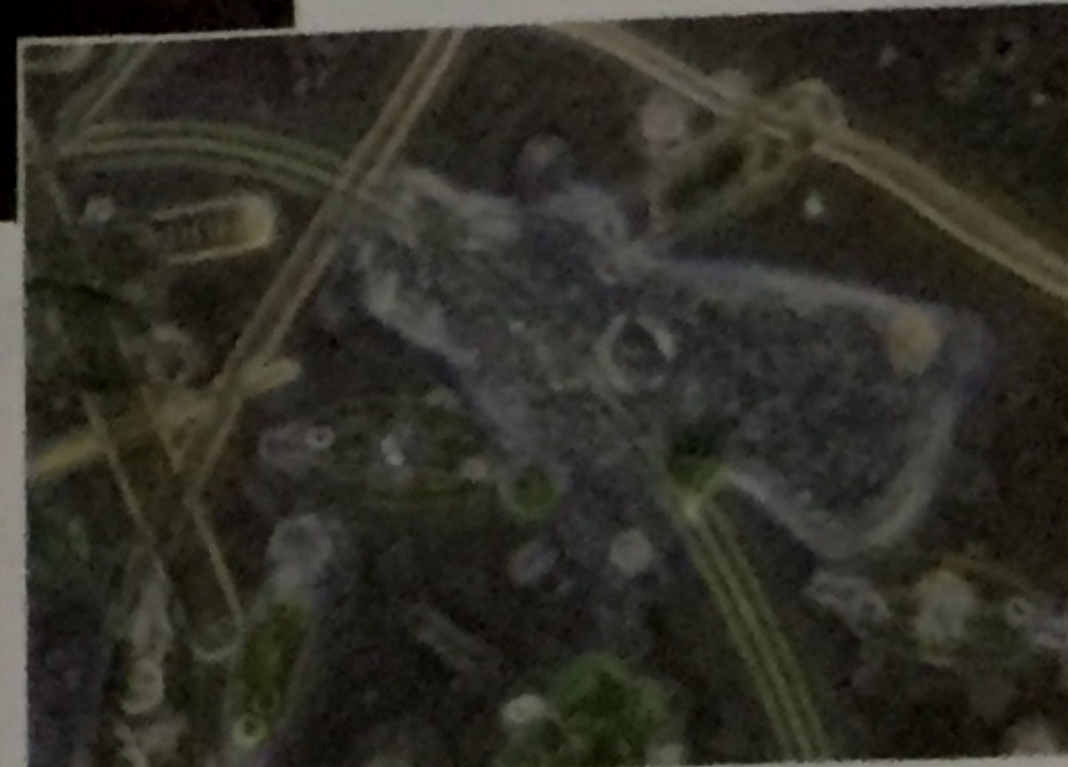



**باکتری‌ها** متنوع‌ترین و گسترده‌ترین پروکاریوت‌ها هستند که هم‌اکنون در فرمانروهای مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. هرکدام از اشکال استوانه‌ای که در شکل می‌بینید، یک باکتری است.

**(c) قلمرو یوکاریوت‌ها**



◄ **فرمانروی جانوران** شامل یوکاریوت‌های پرسلولی است که از دیگر جانداران تغذیه می‌کنند.




◄ **آغازیان** بیش‌تر شامل یوکاریوت‌های تک‌سلولی و برخی پرسلولی‌های نسبتاً ساده می‌باشند. تصویری که می‌بینید مربوط به آغازیانی است که در آب‌های شیرین زندگی می‌کنند. بحث زیست‌شناسان اکنون بر سر این مسأله است که چگونه آغازیان را طبقه‌بندی کنند که روابط تکاملی آنها را به‌طور دقیق نشان دهد.



▲ **فرمانروی گیاهان** شامل یوکاریوت‌های پرسلولی خشکی‌زی‌است که فتوسنتز می‌کنند ( انرژی نور را به انرژی شیمیایی موجود در غذاها تبدیل می‌کنند).



◄ **فرمانروی قارچ‌ها** تا حدی به‌وسیلهٔ نحوهٔ تغذیهٔ اعضایش تعریف می‌شود (مثل این قارچ چتری) که مواد غذایی را از بیرون پیکرشان جذب می‌کنند.

### گروه‌بندی گونه‌ها: ایدهٔ پایه‌ای

یکی از علایق انسان گروه‌بندی موارد گوناگون بر اساس تشابه آنها است. برای مثال ممکن است شما مجموعهٔ موسیقی خود را بر اساس نام هنرمند طبقه‌بندی کنید. سپس ممکن است هنرمندان گوناگون را در یک گروه بزرگتر مثل جاز، راک و یا کلاسیک دسته‌بندی نمایید. با همین منطق، گروه‌بندی گونه‌های مشابه برای ما یک امر طبیعی است. ممکن است در مورد گروه سنجاب‌ها و پروانه‌ها صحبت کنیم درحالی‌که می‌دانیم انواع مختلفی از گونه‌ها در هر گروه جای گرفته‌اند. حتی می‌توان گروه‌ها را وسیع‌تر کرد و از گروه‌های بزرگتری مثل جوندگان (که شامل سنجاب‌ها نیز می‌شود) و حشرات (که شامل پروانه‌ها نیز می‌شود) صحبت نمود. رده‌بندی (Taxonomy)، شاخه‌ای از دانش زیست‌شناسی است که گونه‌ها را نام‌گذاری و طبقه‌بندی می‌کند (شکل ۱۴-۱). در فصل ۲۶ بیشتر راجع به رده‌بندی صحبت خواهیم کرد. اکنون راجع به قلمروها و فرمانروها بحث می‌کنیم که بزرگ‌ترین واحدهای طبقه‌بندی هستند.

### سه قلمرو[1] اصلی حیات

تا حدود ۲۰ سال پیش، بیشتر زیست‌شناسان، طرح طبقه‌بندی را پذیرفته بودند که گوناگونی جانداران بر روی زمین را به پنج فرمانرو اصلی طبقه‌بندی می‌کرد: *گیاهان*، *جانوران*، *قارچ‌ها*،

---

1 - Domain




▲ **شکل ۱۶-۱ مثالی از وحدت در مقابل گوناگونی حیات: ساختار مژک در سلول‌های یوکاریوتی.** *مژک‌ها، ضمائم سلولی هستند که سلول به‌واسطه آنها حرکت می‌کند. مژک‌ها در سلول‌های یوکاریوتی، در حد بسیار گسترده از انسان گرفته تا پارامسی یافت می‌شوند با آنکه این دو جاندار بسیار متفاوتند اما ساختار مژک آنها با یکدیگر مشابه است.*

یوکاریوت‌های تک‌سلولی و پروکاریوت‌ها. از آن زمان به بعد، شیوه‌های جدیدی چون مقایسهٔ توالی DNAی گونه‌های مختلف، موجب ارزیابی مجدد در تعداد و مرزهای فرمانروها شد. محققان از ۶ تا ۱۲ فرمانرو را تا به حال پیشنهاد داده‌اند. درحالی‌که هنوز در این مورد بحث وجود دارد، اما توافق کلی بر آن است که فرمانروها را می‌توان در سه دستهٔ بزرگتر به‌نام قلمرو طبقه‌بندی کرد. این سه قلمرو شامل: **باکتری‌ها، آرکی‌آ**[1] (آرکی‌باکترها) و **یوکاریا**[2] (یوکاریوت‌ها) هستند (**شکل ۱۵-۱**).

جانداران موجود در دو قلمروی باکتری‌ها و آرکی‌باکترها همگی پروکاریوت هستند. اغلب پروکاریوت‌ها تک‌سلولی و میکروسکوپی می‌باشند. در سیستم ۵ فرمانرویی، باکتری‌ها و آرکی‌باکترها در یک فرمانرو قرار دارند زیرا هر دو پروکاریوت هستند. اما تحقیقات اخیر، بیشتر از این دیدگاه دفاع می‌کند که باکتری‌ها و آرکی‌باکترها دو شاخهٔ کاملاً مجزا از هم در دنیای پروکاریوت‌ها هستند. این تفاوت‌ها را در فصل ۲۷ خواهید دید. همچنین شواهد اخیر نشان داده‌اند که آرکی‌باکترها بیشتر به جانداران یوکاریوتی شبیه هستند تا باکتری‌ها.

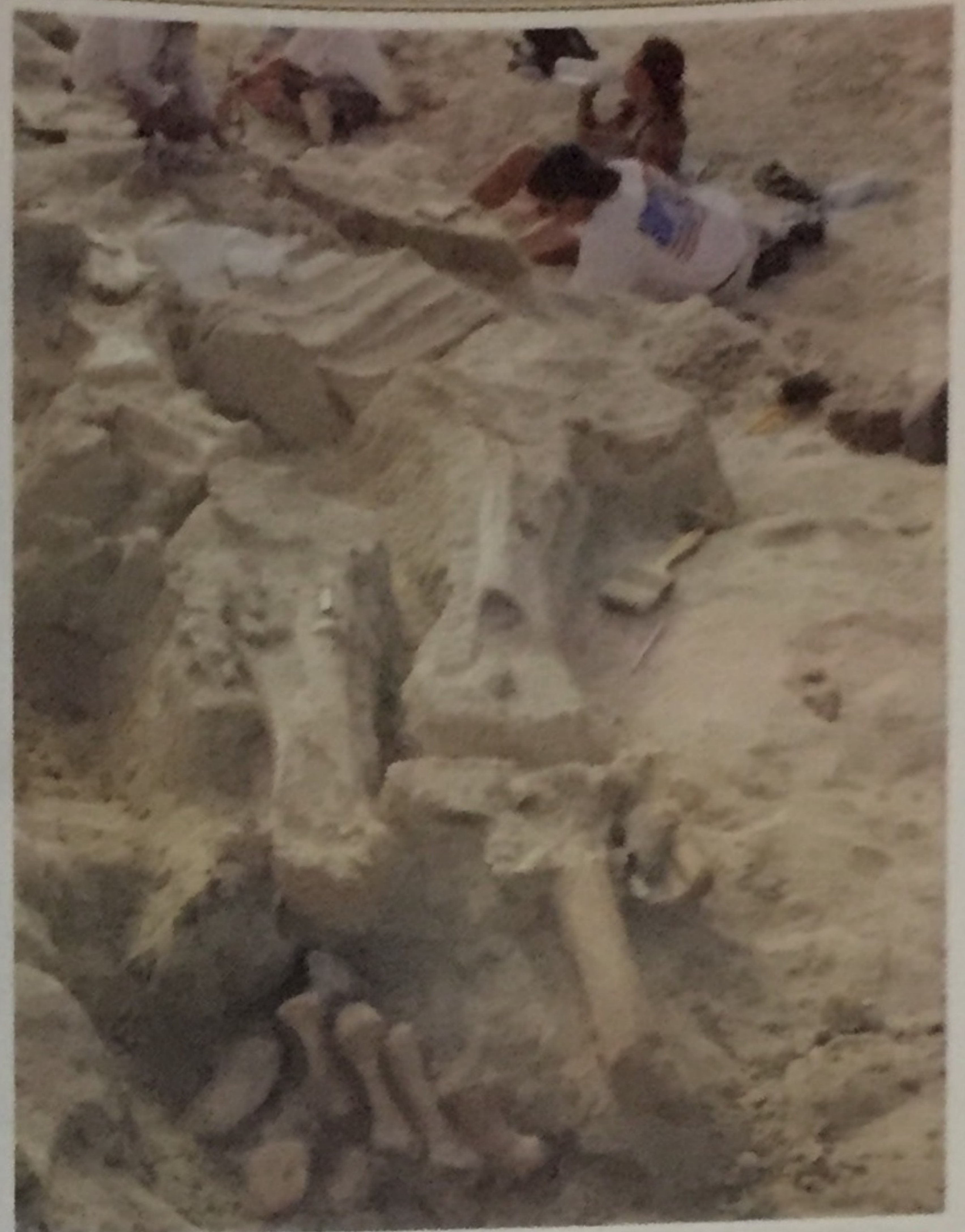
هم‌اکنون تمامی یوکاریوت‌ها در فرمانروهای مختلفی از **قلمرو یوکاریوت‌ها**، گروه‌بندی می‌شوند. در زمانی‌که برای جانداران پنج فرمانرو قائل بودند، بیشتر یوکاریوت‌های تک‌سلولی، مثل پروتوزوآها (Protozoans)، در یک فرمانرو (فرمانروی آغازیان) قرار می‌گرفتند. بسیاری از زیست‌شناسان مرزهای این فرمانرو را گسترش دادند تا برخی از انواع پرسلولی مثل جلبک‌ها که با آغازیان تک‌سلولی نسبت نزدیک دارند را نیز دربر بگیرد. در تاکسونومی جدید، علاقه بر آن است تا آغازیان را به چندین فرمانرو تقسیم کنند. علاوه بر این فرمانروهای آغازی، فرمانروی یوکاریوت‌ها شامل سه فرمانروی پرسلولی از یوکاریوت‌هاست: فرمانروهای *گیاهان*، *قارچ‌ها* و *جانوران*. این سه فرمانرو از طریق نحوهٔ تغذیه‌شان از هم تشخیص داده می‌شوند. گیاهان از طریق فتوسنتز، قند و سایر مواد غذایی مورد نیاز خود را تولید می‌کنند. قارچ‌ها غالباً جاندارانی تجزیه‌کننده هستند و با تجزیه کردن جانداران مرده و یا بقایای مواد دفعی آنها (مثل بقایای برگ‌ها و یا مدفوع حیوانات) مواد غذایی را جذب می‌کنند. جانوران مواد غذایی را می‌بلعند و سپس هضم می‌کنند.

### وحدت در گوناگونی حیات

با آنکه حیات بسیار گوناگون است، اما در عین حال وحدت قابل توجهی را به نمایش می‌گذارد. پیشتر راجع به شباهت ساختمان اسکلت مهره‌داران صحبت کردیم، اما تشابه در سطح مولکولی و سلولی بسیار بیشتر است. برای مثال الفبای جهانی ژنتیکی DNA، از باکتری گرفته تا جانوران، مشابه است. وحدت همچنین در بسیاری از جنبه‌های ساختار سلولی قابل مشاهده است (**شکل ۱۶-۱**).

---

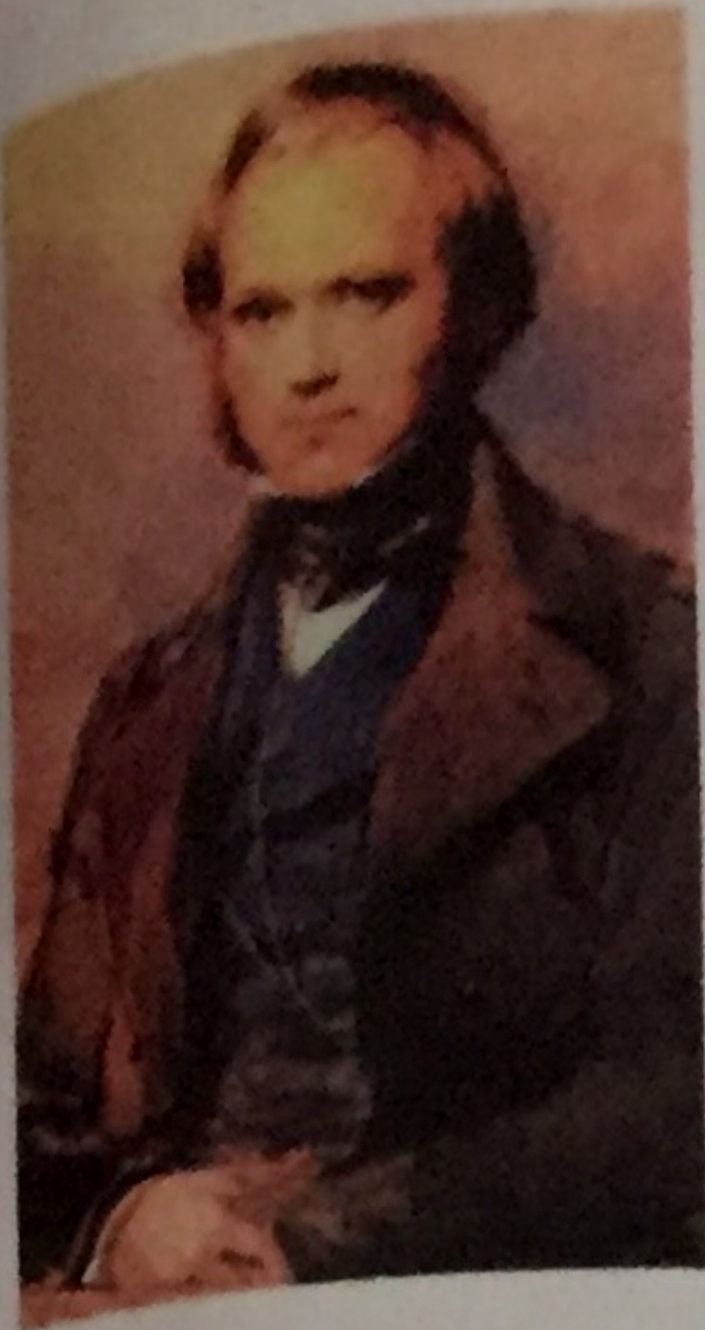
1 - Archaea
2 - Eukarya



▲ **شکل ۱۷-۱ برگشت به گذشته.** باستان‌شناسان با دقت استخوان پای یک دایناسور گردن‌دراز (*Rapetosaurus krausei*) را از صخره‌های ماداگاسکار نمایان می‌کنند.

چگونه می‌توان طبیعت دوگانهٔ وحدت و گوناگونی جانداران را توجیه کرد؟ فرایند تکامل که در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد این مسائل را شرح می‌دهد و بُعد دیگری از زیست‌شناسی را به ما معرفی خواهد کرد: زمان و تاریخ.

## چارلز داروین و نظریهٔ انتخاب طبیعی



▲ **شکل ۱۸-۱ چارلز داروین در هنگام جوانی.**

تاریخچهٔ حیات که توسط سنگواره‌ها و سایر شواهد ثبت شده است، نشان می‌دهد که در کرهٔ زمین با چند میلیارد سال سن، جانداران متنوعی زندگی می‌کرده‌اند (شکل ۱۷-۱). این دیدگاه تکاملی از جانداران در نوامبر سال ۱۸۵۹، زمانی که چارلز روبرت داروین کتاب خود را تحت عنوان منشاء گونه‌ها در اثر انتخاب طبیعی (*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*) به چاپ رساند، شکل گرفت. کتاب داروین به سرعت جزء پرفروش‌ترین کتاب‌ها شد و داروینیسم مترادف تکامل گردید (شکل ۱۸-۱).

خاستگاه گونه‌ها از دو مطلب اصلی تشکیل شده است. ابتدا داروین با مدارکی بیان داشت که گونه‌های مختلف از یک نیای مشترک منشاء گرفته‌اند (در مورد شواهد تکامل در فصل ۲۲ با جزئیات بحث خواهیم کرد). داروین این تاریخچهٔ تکاملی گونه‌ها را







◀ **شکل ۱۹-۱ وحدت و گوناگونی در خانوادهٔ گل ارکیده.** این سه ارکیده انواعی از یک طرح کلی مشترک هستند. به‌عنوان مثال، هر سهٔ آنها دارای گلبرگ لب‌مانندی می‌باشند که حشرات گرده‌افشان را به خود جذب می‌کند و همچنین جایگاهی برای نشستن گرده‌افشان‌ها فراهم می‌کند.



۱ جمعیتی با صفات وراثتی متنوع



۲ حذف افرادی با صفات خاص



۳ تولیدمثل افرادی که زنده مانده‌اند



۴ افزایش فراوانی صفاتی که شانس بقا و موفقیت تولیدمثلی را افزایش می‌دهد

▲ **شکل ۲۰-۱ انتخاب طبیعی.** *این جمعیت فرضی از سوسک‌ها در مکانی که خاک به‌علت سوختن علف‌ها سیاه‌رنگ شده است، ساکن شده‌اند. در ابتدا رنگ سوسک‌ها طیفی از خاکستری روشن تا ذغالی است. برای پرندگان گرسنه‌ای که از این سوسک‌ها تغذیه می‌کنند شکار انواع روشن‌تر راحت‌تر است.*

«تغییر نسل‌ها[1]» نامید. این خود یک نام‌گذاری گویا بود که دوگانگی وحدت و گوناگونی حیات را نشان می‌داد - وحدت میان گونه‌هایی که از یک نیای مشترک منشاء گرفته‌اند؛ و گوناگونی هنگامی که آنها از نیای خود جدا شده‌اند (شکل ۱۹-۱). مطلب دوم داروین بیان مکانیسم ایجاد این تفاوت‌ها بود؛ او این مکانیسم تکاملی را «*انتخاب طبیعی*» نامید.

داروین نظریهٔ انتخاب طبیعی خود را بر اساس مشاهداتی بیان داشت که به خودی خود، نه جدید بودند و نه بسیار ژرف. دیگران نیز تکه‌های این پازل را در اختیار داشتند اما داروین توانست این تکه‌ها را کنار یکدیگر قرار دهد. او مشاهدات خود را از طبیعت این‌گونه آغاز کرد: صفات افراد مختلف در یک جمعیت با هم متفاوت هستند و به نظر وراثتی می‌رسند (از والدین به فرزندان می‌رسند). در جمعیت تعداد زاده‌هایی که متولد می‌شوند خیلی بیشتر از تعدادی است که به سن تولیدمثل می‌رسند. ازدیاد جمعیت بیش از حد توان محیط، موجب ایجاد رقابت بین آنها می‌شود و در نهایت اینکه گونه‌ها با محیط اطراف‌شان تناسب دارند. برای مثال در جایی که دانه‌هایی با پوستهٔ ضخیم یک منبع مناسب غذایی برای پرندگان باشد، این پرندگان دارای منقاری قدرتمند هستند.

داروین با استنتاج از این مشاهدات به نظریهٔ تکامل خود رسید. او توضیح داد افراد با صفات ارثی که با محیط خود تطابق بیشتری دارند نسبت به افرادی که انطباق کمتری دارند، با احتمال زیادتری به سن تولیدمثل می‌رسند. پس از گذشت نسل‌های متمادی، افرادی که صفات مفیدتری دارند سهم بیشتری از افراد جمعیت را تشکیل خواهند داد. تکامل زمانی رخ می‌دهد که موفقیت تولیدمثلی افراد، جمعیت را با محیط خود سازگار می‌کند.

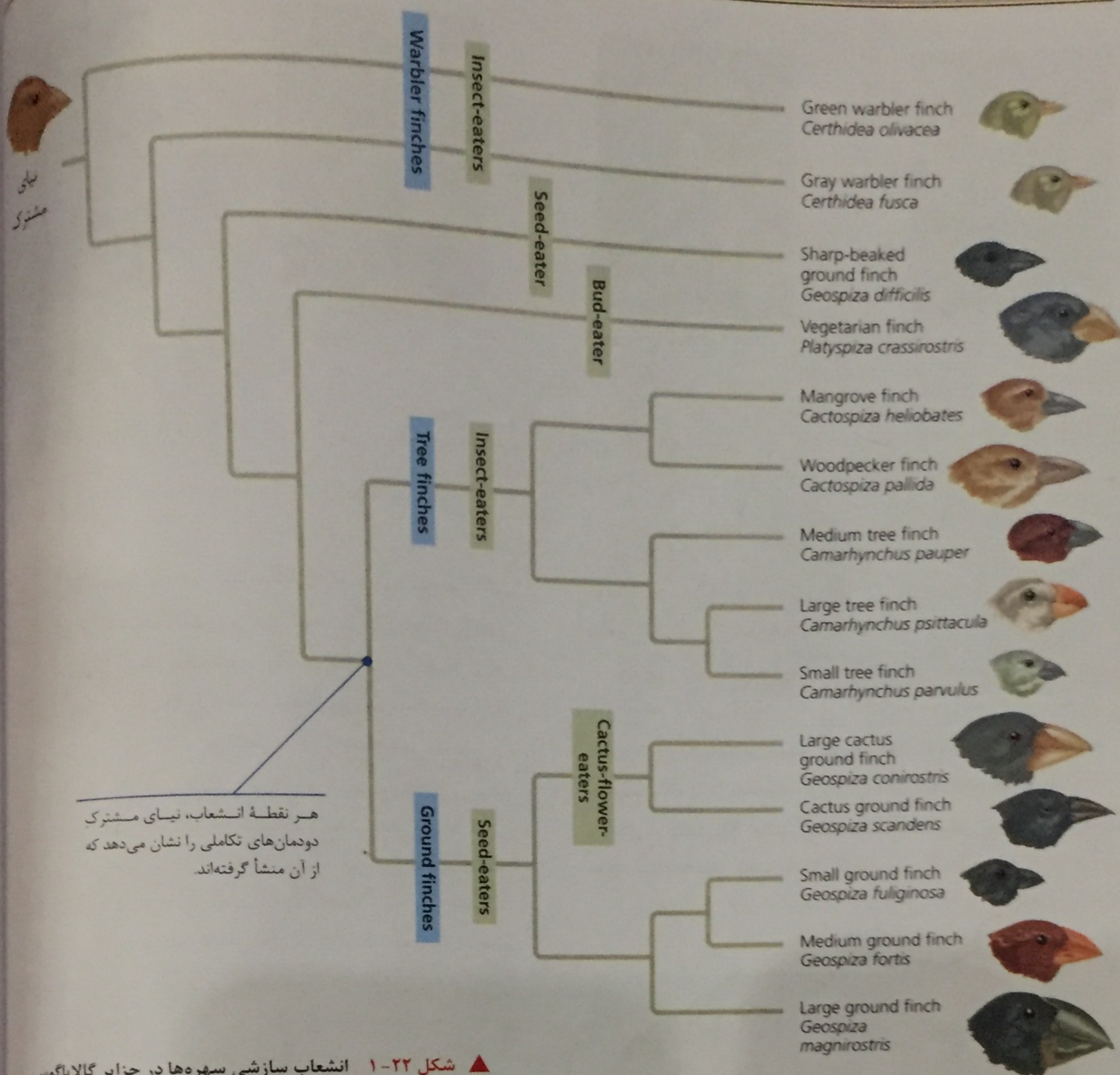
داروین این مکانیسم سازگاری تکاملی را **انتخاب طبیعی** نامید، زیرا محیط طبیعی، صفات خاصی را «انتخاب» می‌کند. مثالی که در **شکل ۲۰-۱** مشاهده می‌کنید نشان می‌دهد که انتخاب طبیعی چگونه تغییرات رنگ را در جمعیت، «ویرایش[2]» می‌کند. انتخاب طبیعی را می‌توان در بسیاری از جانداران که با شرایط خاص محیط اطراف تطابق پیدا کرده‌اند، یافت (شکل ۲۱-۱).



▲ **شکل ۲۱-۱ سازگاری تکاملی.** *خفاش‌ها (تنها پستانداران دارای توانایی پرواز) دارای بال‌هایی هستند که از ایجاد پره بین انگشتان دراز شدهٔ آنها تشکیل شده است. براساس دیدگاه داروین، چنین سازگاری‌هایی براساس انتخاب طبیعی شکل گرفته است.*

1 - Descent with modification

2 - Edit




▲ **شکل ۲۲-۱ انشعاب سازشی سهره‌ها در جزایر گالاپاگوس.**
*این درخت، تکامل سهره‌ها را در جزایر گالاپاگوس نشان می‌دهد. به انواع منقارها که با انواع مختلف منابع غذایی در جزایر متفاوت سازش یافته‌اند، توجه کنید.*

### درخت حیات

نگاه دیگری به ساختار اسکلتی بال خفاش در شکل ۲۱-۱ بیاندازید. با آنکه این اندام‌های جلویی برای پرواز سازش پیدا کرده‌اند اما دارای همان استخوان‌ها، مفاصل، اعصاب و رگ‌های خونی هستند که در اندام‌های سایر موجودات مثل دست انسان، اندام جلویی اسب و بالهٔ وال یافت می‌شود. در حقیقت، اندام جلویی تمامی پستانداران، حالات مختلفی از یک آناتومی خاص است، همانند آنچه در مورد گل‌های ارکیده در شکل ۱۹-۱ دیدید. این‌گونه مثال‌ها نشان‌دهندهٔ وجود تفاوت در عین وحدت در حیات است و تأییدی بر نظریهٔ داروین می‌باشد. با این دید، تشابه آناتومی اندام جلویی در پستانداران نشان‌دهندهٔ به ارث رسیدن این اندام از یک نیای مشترک است - پستانداری که سایر پستانداران از آن مشتق شده‌اند. گوناگونی در اندام‌های جلویی پستانداران، حاصل تغیر توسط انتخاب طبیعی است که طی میلیون‌ها نسل در محیط‌های گوناگون رخ داده است. سنگواره‌ها و شواهد دیگر نیز از همین دیدگاه در مورد اشتقاق پستانداران از یک نیای مشترک دفاع می‌کنند.

داروین پیشنهاد داد که انتخاب طبیعی با اثرات تدریجی خود در طول زمان می‌تواند موجب اشتقاق گونه‌ها از یک نیای مشترک

شود. این مطلب می‌تواند زمانی رخ دهد که برای مثال یک جمعیت به چندین زیر جمعیت تقسیم شده و هر کدام در یک محیط متفاوت منزوی شوند. در این حالت جمعیت‌هایی که در محیط‌های متفاوتی قرار دارند می‌توانند پس از گذشت چندین نسل بر اثر انتخاب طبیعی به گونه‌های دیگری اشتقاق یابند.

«درخت خانوادگی» ۱۴ سهره را در **شکل ۲۲-۱** مشاهده می‌کنید. این شکل مثالی معروف از اشتقاق گونه‌ها بر اساس سازش با محیط است. داروین گونه‌هایی از این پرندگان را در سال ۱۸۳۵ از جزایر گالاپاگوس واقع در ۹۰۰ کیلومتری سواحل آمریکای جنوبی در اقیانوس آرام جمع‌آوری کرد. این جزایر جوان آتشفشانی، زیستگاه بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری است که در هیچ جای دیگر از جهان یافت نمی‌شوند؛ اگرچه بیشتر جانداران جزایر گالاپاگوس بسیار شبیه گونه‌هایی هستند که در آمریکای جنوبی زیست می‌کنند. پس از آنکه میلیون‌ها سال پیش فعالیت‌های آتشفشانی جزایر گالاپاگوس را ایجاد کرد، احتمالاً سهره‌ها در جزایر متفاوت، از یک گونه سهرهٔ نیایی، تنوع یافتند.

سال‌ها پس از جمع‌آوری سهره‌های گالاپاگوس توسط داروین، دانشمندان شروع به دسته‌بندی و یافتن خویشاوندی میان سهره‌ها کردند. آنها ابتدا این کار را بر اساس داده‌های آناتومی و جغرافیایی انجام دادند اما اخیراً از توالی نوکلئوتیدهای DNA برای مقایسه استفاده می‌کنند.

ترسیم زیست‌شناسان از روابط تکاملی و خویشاوندی سهره‌ها، ظاهری مثل یک درخت دارد. همان‌گونه که هر شخصی دارای شجره‌نامه‌ای است که می‌توان آن را همانند یک درخت ترسیم کرد، هر گونه‌ای از جانداران شاخهٔ کوچکی از درخت حیات است که از طریق گونه‌های نیایی به زمان‌های بسیار گذشته باز می‌گردد. گونه‌هایی که خیلی شبیه هم هستند همانند سهره‌های گالاپاگوس، دارای نیای مشترکی هستند که در گذشتهٔ نزدیک‌تری از آن جدا شده‌اند. اما با در نظر گرفتن نیای مشترکی که در گذشتهٔ دورتری قرار دارد سهره‌ها با گنجشک‌ها، کلاغ‌ها، پنگوئن‌ها و سایر پرندگان ارتباط دارند و حتی در زمانی گذشته‌تر، پرندگان، پستانداران و تمامی مهره‌داران دارای یک نیای مشترک هستند. اگر به اندازهٔ کافی به گذشتهٔ حیات برگردیم تنها سنگواره‌هایی از پروکاریوت‌های اولیه خواهیم یافت که حدود ۳/۵ میلیارد سال پیش بر روی زمین زندگی می‌کردند. ما می‌توانیم ردپای آنها را در سلول‌های خود بیابیم ـ مانند رمزهای یکسان ژنتیک. تمامی جانداران از طریق تاریخچهٔ طولانی تکامل با هم مرتبط هستند.

## پرسش‌های مبحث ۲-۱

۱. تشابه بین آدرس پستی و سیستم طبقه‌بندی را باهم بیان کنید.

۲. با توجه به اینکه انتخاب طبیعی بر روی گوناگونی قابل توارث جمعیت اثر دارد، بیان کنید که چرا «ویرایش» از «خلق کردن» بهتر است؟

۳. **چه می‌شد اگر؟** سه قلمرو که شما در مفهوم ۲-۱ با آنها آشنا شدید می‌توانند در درخت تبارزایشی به‌صورت سه انشعاب اصلی قرار بگیرند. در انشعاب یوکاریوت‌ها، انشعابات فرعی شامل فرمانروهای گیاهان، جانوران و قارچ‌ها وجود دارد. چه می‌شد اگر قارچ‌ها و جانوران بیشتر به هم نزدیک باشند تا هر کدام از این فرمانروها با فرمانروی گیاهان؟ (همان‌طور که شواهد اخیر بر آن تأکید دارد؟) یک درخت رسم کنید که ارتباط بین این سه فرمانروی یوکاریوتی را با یکدیگر نشان دهد.

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

## ۳-۱ در مطالعهٔ طبیعت، دانشمندان به مشاهده می‌پردازند و سپس فرضیه‌هایی را ارائه کرده و آزمایش می‌کنند

کلمهٔ **Sciense** (علم) از یک فعل لاتین به معنای «دانستن» گرفته شده است. تلاش ما برای فهمیدن، به‌نظر یکی از اساسی‌ترین نیازهای ما می‌باشد.

در بطن علم، **پرسش‌گری** نهفته است که در واقع همان جستار برای اطلاعات و توصیف سؤالات مشخص است. «پرسش‌گری» بود که داروین را برای یافتن چگونگی تطابق گونه‌ها با محیط پیرامونی خود رهنمون ساخت. و امروز پرسش‌گری و تلاش برای دانستن است که ما را به سمت تحلیل ژنوم و برای درک یکپارچگی و نیز تنوع در سطح مولکولی هدایت می‌کند. در واقع، ذهن پرسش‌گر نیروی محرکی است که تمام پیشرفت‌های دانش زیست‌شناسی را سبب می‌شود.

هیچ فرمول خاصی برای پرسش‌گریِ درست علمی وجود ندارد. همچنین هیچ روش علمی منفردی که در کتاب قواعد خاصی نگاشته شده باشد تا محققین به اجبار و دقیقاً از آن تبعیت کنند، وجود ندارد. مانند هر پرسش و تحقیقی، علم نیز شامل اجزایی نظیر تلاش و درگیری، ماجراجویی، شانس و برنامه‌ریزی دقیق، دلیل آوردن و استدلال کردن، خلاقیت، همکاری، رقابت، بردباری، و نیز مقاومت در برابر دشواری‌ها می‌باشد. این اجزای متنوع پرسش‌گری، علم را، برخلاف آنچه اغلب مردم می‌انگارند، کمتر ساختارگرا و متحجر می‌کند. با این وجود، می‌توان برای جنبه‌هایی که ما را قادر

می‌سازد تا میان علم و دیگر روش‌های توصیف و تبیین طبیعت، تفاوت قائل شد، ویژگی‌های خاصی را بر شمرد.

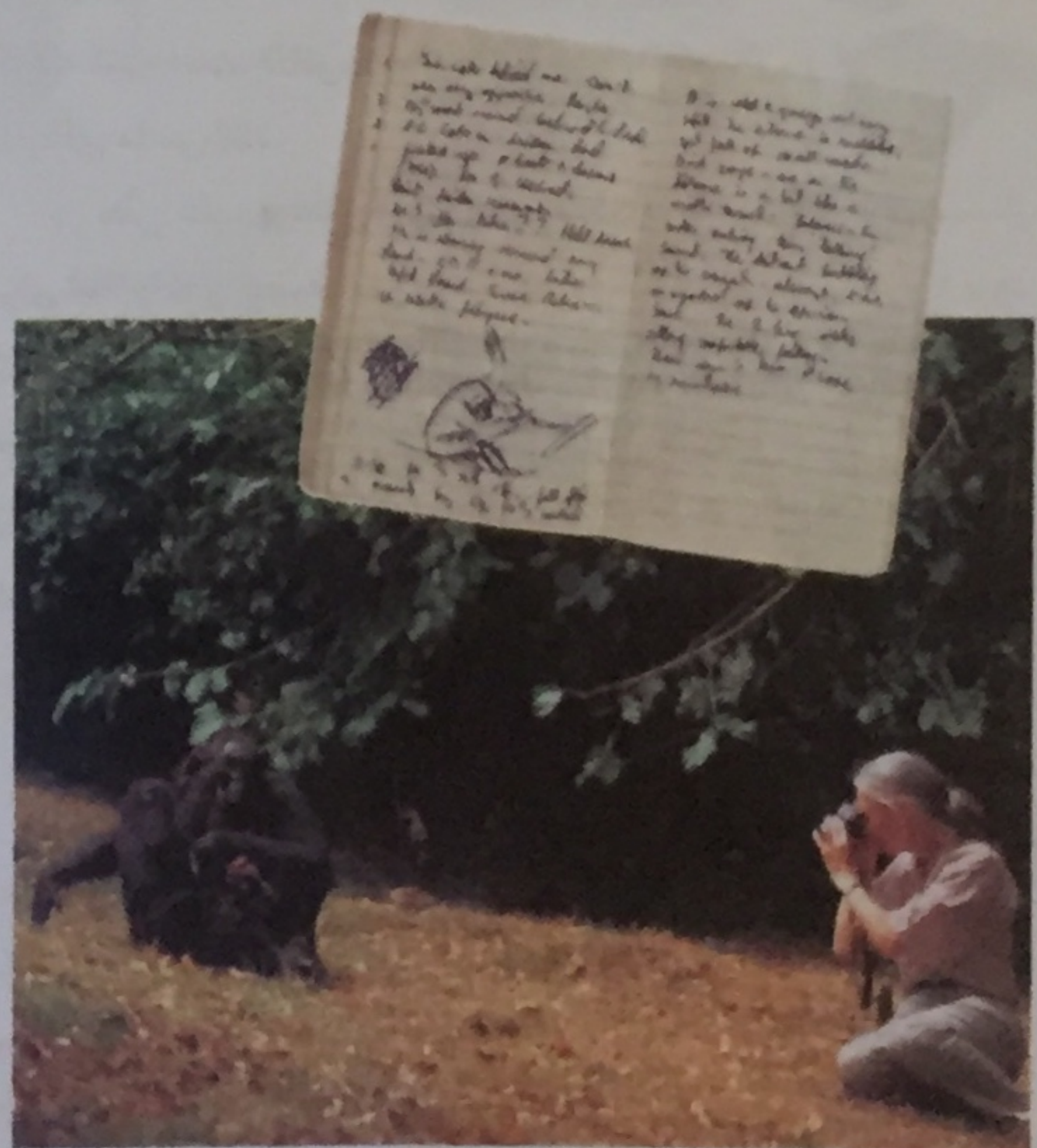
زیست‌شناسان دو روش اصلی پرسش‌گری علمی را مورد استفاده قرار می‌دهند: *علم اکتشافی* و *علم مبتنی بر فرضیات*. علم اکتشافی بیشتر در مورد توصیف طبیعت عمل می‌کند. حال آنکه علم مبتنی بر فرضیات بیشتر پیرامون تبیین طبیعت بحث می‌کند. بیشتر روش‌های علمی موجود، این دو روش تحقیق را ترکیب می‌کنند.

### انجام مشاهدات

دانشمندان در تحقیقات خود از طریق مشاهدهٔ دقیق و بررسی داده‌ها ساختارها و فرایندهای طبیعی را تا حد امکان با دقت توصیف می‌کنند. اغلب این مشاهدات در نوع خودشان با ارزش هستند. به‌عنوان مثال یک سری مشاهدات مفصل، دانش ما از ساختار سلولی را پدید آورده است، و یک‌سری مشاهدات دیگر پایگاه‌های اطلاعاتی ما از ژنوم گونه‌های مختلف را گسترش داده است.

### انواع داده‌ها

*مشاهده*، استفاده از حواس برای جمع‌آوری اطلاعات است. حواس ما نیز به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم توسط ابزاری که توانایی‌ها را بالاتر می‌برند (نظیر میکروسکوپ) قوی‌تر شده است.



▲ **شکل ۲۳-۱ جین گودال در حال جمع‌آوری داده‌های کیفی از رفتار شامپانزه‌ها.** *گودال مشاهدات خود را در دفاتری که اغلب طرح‌هایی نیز از رفتار حیوان در آن کشیده شده بود، ثبت می‌کرد.*

**داده‌ها**، همان مشاهدات ثبت شده می‌باشند. از نظر دیگر، داده‌ها همان اجزایی از اطلاعات هستند که پرسش‌گری علمی بر مبنای آنها انجام می‌گیرد.

کلمهٔ «داده» برای بیشتر مردم در حکم اعداد است. اما برخی از داده‌ها کیفی هستند که معمولاً به‌صورت توصیف‌های ثبت‌شده استفاده می‌شوند، نه اعداد. برای مثال، جین *گودال* چند دهه از عمر خود را صرف ثبت رفتارهای شامپانزه در جنگل‌های گامبیا کرد (**شکل ۲۳-۱**). وی همچنین مستندات خود را با فیلم و تصویر نیز ثبت کرد. در کنار این داده‌های کیفی، گودال، همچنین بستر و زمینهٔ علمی رفتارشناسی جانوران را با چندین جلد از داده‌های کمی که عموماً به کمک اندازه‌گیری به‌دست آمده بودند، غنی‌تر کرد. نگاهی سطحی در هر مجلهٔ علمی حاکی از آن است که داده‌های کمی عموماً در جداول و تصاویر جا داده شده‌اند.

### استدلال استقرایی

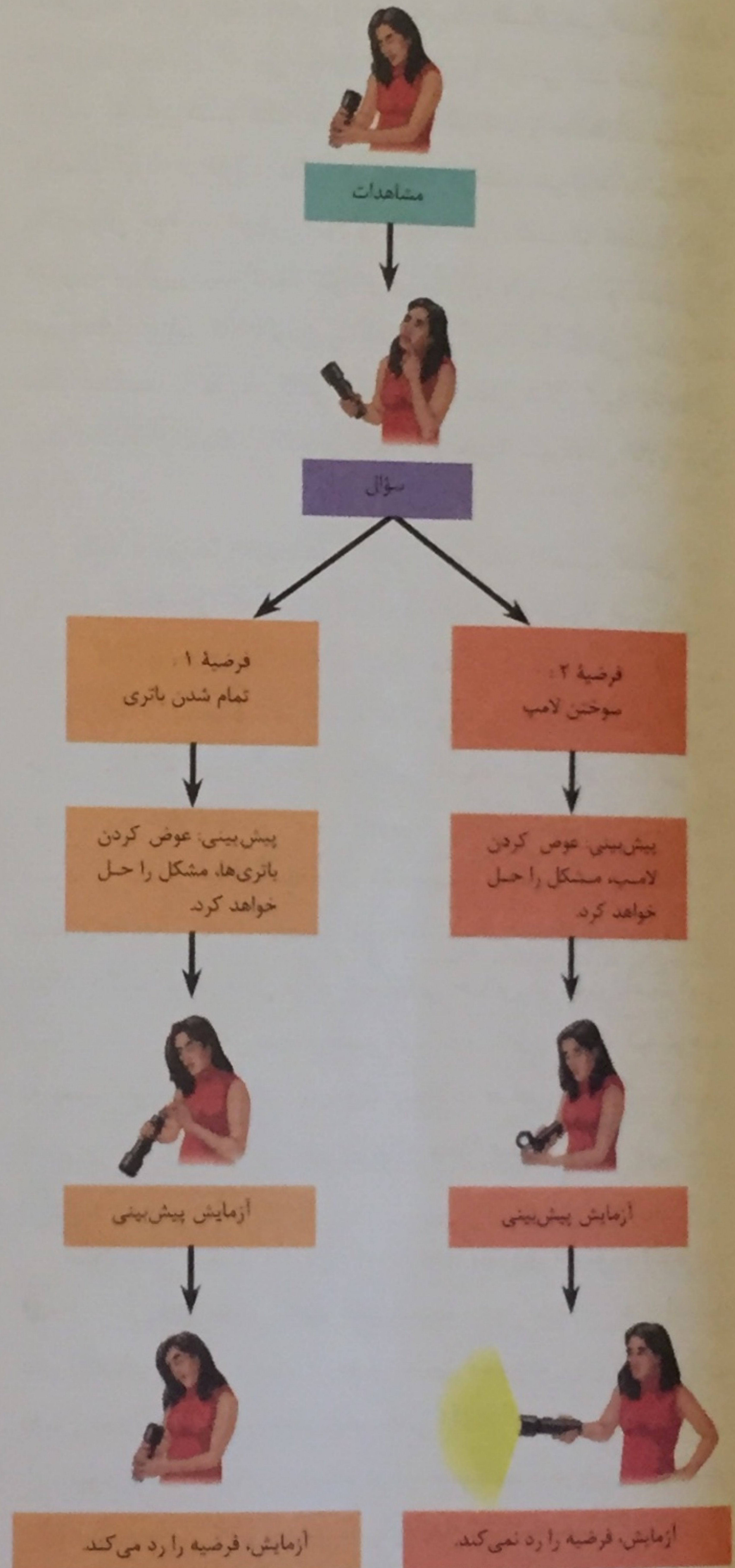
علوم اکتشافی می‌توانند براساس نوعی از منطق به‌نام *منطق استقرایی* به نتایج حائز اهمیتی دست یابند. در استنتاج، از تعمیم دادن تعداد زیادی از مشاهدات استفاده می‌شود. اینکه «خورشید همیشه از مشرق طلوع می‌کند»، مثالی در این رابطه است. مثال دیگر آن است که «تمام موجودات زنده از سلول ساخته شده‌اند». تعمیم جملهٔ اخیر به تمام موجودات که جزئی از نظریهٔ سلولی است، بر مبنای اینکه حدود دو سده، دانشمندان سلول‌ها را در گونه‌های متفاوتی توسط میکروسکوپ یافته بودند، به‌وجود آمده است. مشاهدات دقیق و تحلیل اطلاعات در علوم اکتشافی، به همراه تعمیم‌های به‌دست آمده توسط استنتاج، جنبه‌های اساسی برای درک ما از طبیعت می‌باشند.

### شکل‌گیری و آزمایش فرضیه‌ها

مشاهدات و نتیجه‌گیری‌های علوم اکتشافی، ما را راغب می‌کند تا دلایل مشاهدات خود را جستجو کنیم. چه چیزی باعث ایجاد تنوع در سهره‌های جزایر گالاپاگوس شده است؟ چه چیزی باعث می‌شود تا ریشه رو به پایین رشد کند، حال آنکه ساقه رو به بالا رشد می‌کند؟ چه چیزی باعث تعمیم‌پذیری مشاهدهٔ طلوع خورشید از سمت مشرق می‌شود؟ در علم، این قبیل پرسش‌ها با ارائه فرضیات قابل آزمایش پاسخ داده می‌شود.

## نقش فرضیه‌ها در پرسشگری علمی

در علم، یک **فرضیه**[1]، در واقع پاسخ تجربی و برخاسته از آزمون به یک سؤال با قالب مشخص است. فرضیه عموماً یک حدس هوشمندانه و علمی بر مبنای تجربه و داده‌های حاصل از علوم اکتشافی می‌باشد. یک فرضیهٔ علمی منجر به آزمون مشاهدات اضافی و یا انجام آزمایش‌های دیگر خواهد شد.




▲ **شکل ۲۴-۱ مثالی از پرسش مبتنی بر فرضیه.**

همهٔ ما از فرضیات برای پاسخ‌دهی به سؤالات روزمرهٔ خود استفاده می‌کنیم. برای مثال هنگامی که چراغ‌قوهٔ شما در پیک‌نیک کار نکند، یک مشاهده توسط شما صورت گرفته است. سؤال این است که **چرا** چراغ‌قوهٔ من کار نمی‌کند؟ دو فرضیهٔ منطقی بر مبنای مشاهدات قبلی شما عبارتند از (۱) تمام شدن باتری چراغ‌قوه و (۲) سوختن لامپ. هر کدام از این فرضیات، جایگزین پیش‌بینی‌هایی است که شما می‌توانید آن را مورد آزمایش قرار دهید. برای مثال فرضیهٔ تمام شدن باتری می‌تواند با تعویض باتری‌ها مورد آزمون قرار گیرد. **شکل ۲۴-۱**، این پرسش علمی پیک‌نیک را به تصویر می‌کشد. البته ما به ندرت روندهای ذهنی خود را به هنگام حل مسأله با فرضیات، حدس‌ها، و آزمون‌ها، به این صورتی که شرح داده شد، کالبدشکافی می‌کنیم. اما علم مبتنی بر فرضیه، به وضوح ریشه در تمایل انسان به حل مسائل توسط آزمون و خطا دارد.

### استدلال قیاسی و آزمایش فرضیه

نوعی از منطق به‌نام نتیجه‌گیری (استنتاج) در علم مبتنی بر فرضیات نهفته است. توجه داشته باشید که قیاس و استقرا (induction)، با استنتاج (deduction) متفاوت است (هر چند در فارسی گاهی این دو لغت به جای هم به‌کار می‌روند ـ مترجم). استنتاج در واقع دلیل آوردن از تعدادی مشاهدهٔ مشخص برای رسیدن به یک نتیجهٔ کلی و عمومی است. در **استدلال قیاسی**، منطق، در سوی مخالف حرکت می‌کند، یعنی از کل به جزء می‌رسد. در واقع از بدیهیات و فرضیات اثبات شده که باید صحت آنها برای ما مسلم باشند، به سوی مفاهیم جزئی‌تر و اختصاصی حرکت می‌کنیم. اگر تمام موجودات زنده از سلول ساخته شده باشند *(فرض اول)*، و انسان‌ها نیز موجود زنده باشند *(فرض دوم)*، پس انسان‌ها از سلول ساخته شده‌اند (پیش‌بینی استنتاجی در رابطه با یک موضوع خاص).

در علوم مبتنی بر فرضیات، نتیجه‌گیری‌ها صورت و پیکربندی پیش‌بینی‌های نتایج مبتنی بر تجربه و یا مشاهدات که در صورت صحت فرض اولیه به‌دست می‌آیند را تشکیل می‌دهند. سپس ما برای فهم اینکه آیا نتایج همانی است که پیش‌بینی کرده‌ایم یا خیر، فرضیهٔ خود را مورد آزمایش قرار می‌دهیم. این نوع منطق استنتاجی، منطق «اگر ... آنگاه ...» را می‌سازد. در مورد مثال چراغ‌قوه: **اگر** فرضیهٔ تمام شدن باتری صحیح باشد، و شما باتری‌ها را با باتری‌های سالم عوض کنید، **آنگاه** چراغ‌قوه بایستی روشن شود.
پرسش چراغ‌قوه نشان می‌دهد که نکتهٔ کلیدی دیگری نیز در علوم مبتنی بر فرضیه وجود دارد. این نکته آن است که می‌توان یک

---
1 - Hypothesis

و یا چند فرضیهٔ جایگزین دیگر را نیز مطرح کرد که این فرضیات با آزمون‌های طراحی‌شده رد می‌شوند. علاوه بر دو فرضیه‌ای که در شکل ۲۴-۱ مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، یکی دیگر از چندین فرضیهٔ محتمل آن است که هم باتری و هم لامپ چراغ‌قوه با هم خراب باشند. این فرضیه چه چیزی را دربارهٔ نتیجهٔ آزمون شکل ۲۴-۱ پیش‌بینی می‌کند؟ چه آزمون دیگری را برای این فرضیهٔ جدید پیشنهاد می‌کنید؟

از دل مثال چراغ‌قوه می‌توان نکتهٔ جدید دیگری را نیز فراگرفت. هر چند که لامپ سوخته به نظر محتمل‌ترین توضیح می‌رسد؛ توجه داشته باشید که آزمایش ما **نه** از طریق تأیید این فرضیه، بلکه از طریق عدم رد شدن آن است که فرضیه را اثبات می‌کند. ممکن است لامپ تنها کمی شل شده باشد و لامپ جدید، درست و صحیح سفت شود. ما می‌توانیم فرضیهٔ لامپ سوخته را با آزمایش دیگری رد کنیم: خارج کردن لامپ و سپس نصب مجدد و صحیح آن. اما هیچ تعدادی از آزمایش فرضیه‌ها نخواهد توانست فراتر از سایهٔ شک و تردید فرضیه‌ها را **اثبات** کند، چرا که نمی‌توان **همهٔ** فرضیه‌های جایگزین را مورد آزمایش قرار داد. اعتبار یک فرضیه هنگامی بیشتر می‌شود که از رد شدن بگریزد و در عین حال فرضیه‌های جایگزین نیز باطل و رد شوند.

## سؤالاتی که می‌توان از طریق علم به آنها پاسخ داد و سؤالاتی که نمی‌توان به روش علمی پاسخ داد

تحقیق علمی روش قدرتمندی برای شناختن طبیعت است، اما سؤالاتی که علم می‌تواند به آنها پاسخ دهد محدودیت دارند. نخست، یک فرضیهٔ علمی بایستی *قابل آزمون* باشد؛ بایستی روش‌هایی برای محک اعتبار آن عقیده وجود داشته باشد. دوم اینکه یک فرضیه بایستی **قابل تکذیب باشد؛** بایستی مشاهدات یا آزمایشاتی وجود داشته باشند که بتوانند عدم صحت یک نظریه را اثبات کنند. این فرضیه که تمام شدن باتری‌ها تنها دلیل کار نکردن چراغ قوه هستند با جایگزینی باتری‌های کهنه با باتری‌های جدید و مشاهده اینکه چراغ قوه هنوز کار نمی‌کند، تکذیب می‌شود. تمامی فرضیه‌ها با اطلاعات علمی سازگار نیستند، شما قادر نیستید آزمایشی برای تکذیب این فرضیه طرح کنید که ارواح نامریی اردوگاه با چراغ قوهٔ شما دست انداخته می‌شوند! زیرا علم برای رویدادهای طبیعی نیاز به توضیحات طبیعی دارد، علم نمی‌تواند فرضیاتی را تأیید کند یا تکذیب کند که فرشتگان، اشباح، یا ارواح خیر یا شر، باعث طوفان‌ها، رنگین‌کمان‌ها، بیماری‌ها، و درمان‌ها می‌شوند. این تعبیرهای مافوق طبیعی از آنجایی که موضوعات مذهبی بوده و مسائل مربوط به اعتقادات شخصی هستند خارج از محدودهٔ علم می‌باشند.

## انعطاف‌پذیری روش علمی

مثال چراغ‌قوه در شکل ۲۴-۱ به نوعی «روش علمی» را به تصویر می‌کشد. می‌توان دریافت که اجزای این فرایند در قالب مقالات پژوهشی چاپ شده توسط دانشمندان وجود دارد اما ندرتاً به‌صورت یک ساختار مشخص قابل رهگیری است. تنها تعداد انگشت‌شماری از دانشمندان هستند که بسیار سخت‌گیر و دقیق تمامی قدم‌های روش علمی را یک به یک دنبال می‌کنند. برای مثال، دانشمندی که می‌خواهد آزمایشی را طراحی کند ممکن است دریابد که باید دست نگاه دارد و هنوز اطلاعات و مشاهدات بیشتری به‌دست آورد. در موارد دیگر، مشاهدات بی‌نظم نمی‌تواند به سادگی یک سؤال خوب را موجب شود و شاید نیاز باشد تا تحقیق‌های دیگری در آن زمینه انجام شود. برای مثال، داروین نمونه‌هایی از سهره‌های جزایر گالاپاگوس را جمع‌آوری کرد، اما سالیان زیادی به طول انجامید تا نظریهٔ تکامل و انتخاب طبیعی شکل گیرد که با آن زیست‌شناسان سؤالات کلیدی دربارهٔ تاریخچهٔ سهره‌های گالاپاگوس را آغاز کنند.

علاوه بر این‌ها، دانشمندان گاهی لازم است تا مسیر تحقیق خود را تغییر دهند چرا که ممکن است دریابند که سؤال اشتباهی را اساس تحقیق خود قرار داده‌اند. برای مثال در اوایل قرن بیستم میلادی اغلب تحقیقات در زمینهٔ اسکیزوفرنی و بیماری افسردگی - جنون مانیا که امروزه اختلال دوقطبی نامیده می‌شود - با تمرکز روی اینکه چگونه ممکن است تجربیات زندگی باعث این بیماری‌ها شود، از مسیر اصلی منحرف شده بود. تحقیق در زمینهٔ این بیماری‌ها زمانی به بار نشست که نقطهٔ تمرکز محققین به سمت اینکه چگونه عدم تعادل‌های شیمیایی خاص در مغز باعث این بیماری‌های روانی می‌شوند، تغییر کرد. باید اذعان داشت که توجه به مسیر طی‌شدهٔ تاریخی در مورد سؤالات خاص است که باعث تغییر و تصحیح کارهای قبلی می‌شود و لذا عبور از مسیر طی شده ناگزیر و اجتناب‌ناپذیر است.

هنوز دلیل دیگری نیز برای اینکه عدم پیروی دقیق و قدم به قدم از روش‌های علمی کاملاً غلط نیست وجود دارد: آن هم اینکه علم اکتشافی بدون تبعیت از مسیر علمی مشخص، در شکل دادن بخش عمده‌ای از دانش فعلی بشر نقش داشته است.

اینکه شما تجربیاتی توسط درک مستقیم قدرت روش علمی داشته باشید حائز اهمیت است. برای مثال می‌توانید با استفاده از امکانات آزمایشگاهی در درس زیست‌شناسی مدرسه، چند سؤال طراحی کنید و با روش علمی به آنها پاسخ دهید. همچنین لازم است تا از تکرار کلیشه‌ای و قدم به قدم روش علمی نیز اجتناب کنید.

## مثالی از پرسش‌گری علمی: بررسی تقلید در جمعیت مارها

حال که مطالب کلیدی علم اکتشافی (توصیفی) و علم مبتنی بر فرضیه را آموختیم، باید قادر باشید تا این اشکال از علوم را در یک مثال تحقیق واقعی تمیز دهید.

داستان با یک سری از مشاهدات و نهایتاً تعمیم دادن علوم توصیفی آغاز می‌شود. بسیاری از حیوانات سمی رنگ درخشان دارند، که اغلب توسط نقوشی که در تضاد با رنگ پس‌زمینه است مفروش شده است. این طرح، به رنگ‌آمیزی هشداردهنده موسوم است چرا که شکارچیانِ مارها را می‌ترساند و پیام خطر را به آنها القا می‌کند. اما در این بین، تقلیدکارانی نیز وجود دارند. این دغل‌کاران مانند مارهای سمی به نظر می‌رسند اما در حقیقت بی‌خطر هستند. سؤال برخاسته از این مشاهدات آن است که فایدهٔ این تقلید چیست؟ یک فرضیهٔ قابل دفاع آن است که این «فریب» یک سازش تکاملی است که خطر صید شدن موجود توسط شکارچیان را کاهش می‌دهد. این فرضیه نخستین‌بار توسط هنری بیتز (Hen) انگلیسی در سال ۱۸۶۲ پیشنهاد شد.

همان‌طور که در مورد این فرضیه به وضوح دیده می‌شود، بسیار مشکل است که این فرضیه توسط آزمایش‌های میدانی (در محل زندگی مار) بررسی شود. اما در سال ۲۰۰۱، دو زیست‌شناس به‌نام‌های دیوید و *کارین فنیگ* از دانشگاه کارولینای شمالی، به همراه *ویلیام هارکومب* که یک دانش‌آموز بود، برای آزمودن فرضیهٔ تقلید بیتز یک آزمون میدانی ساده اما زیبا طراحی کردند. این تیم، موردی از تقلید در مارهای ساکن کارولینای شمالی و جنوبی را بررسی کردند (**شکل ۲۵-۱**). یک مار سمی به‌نام مار صدفی شرقی، رنگ‌آمیزی هشداردهنده داشت؛ حلقه‌های قطور قرمز، زرد (یا سفید) و سیاه که به ترتیب قرار گرفته‌اند. شکارچی‌های مارها به ندرت به این نوع از مارها حمله‌ور می‌شوند. احتمال کمی دارد که شکارچی‌ها توسط آزمون و خطا این را یاد گرفته باشند، چرا که اولین حمله آخرین حمله خواهد بود. در مناطقی که مارهای صدفی زندگی می‌کنند، انتخاب طبیعی به وضوح شکارچیانی را انتخاب کرده است که به‌صورت ارثی و غریزی از مارهای صدفی اجتناب می‌کنند. یک مار غیرسمی به‌نام *شاه‌مار مخملی*، الگوی حلقهٔ مار صدفی را تقلید می‌کند.

هر دو مار در کارولینا زندگی می‌کنند، اما حوزهٔ جغرافیایی شاه‌مارهای مخملی به مناطقی که هیچ مار صدفی در آنجا وجود ندارد نیز می‌رسد (شکل ۲۵-۱). توزیع جغرافیایی مارها امکان آزمودن پیش‌بینی فرضیهٔ تقلید را فراهم کرده است. اجتناب کردن از رنگ‌آمیزی هشداردهنده، سازشی است که انتظار داریم تنها در شکارچیانی دیده شود که در مناطقی که مارهای صدفی سمی در آنجا وجود دارند، تکامل یافته باشند. لذا پیش‌بینی آن است که



شاه مار مخملی (غیر سمی)






مار صدفی شرقی (سمی)



شاه مار مخملی (غیر سمی)

▲ **شکل ۲۵-۱ مناطق جغرافیایی توزیع مارهای سمی و مقلدین آنها**
*شاه‌مارهای مخملی (Lampropeltis triangulum) رنگ‌آمیزی هشدار دهندهٔ مارهای سمی صدفی شرقی (Micrurus fluvius) را تقلید می‌کنند.*

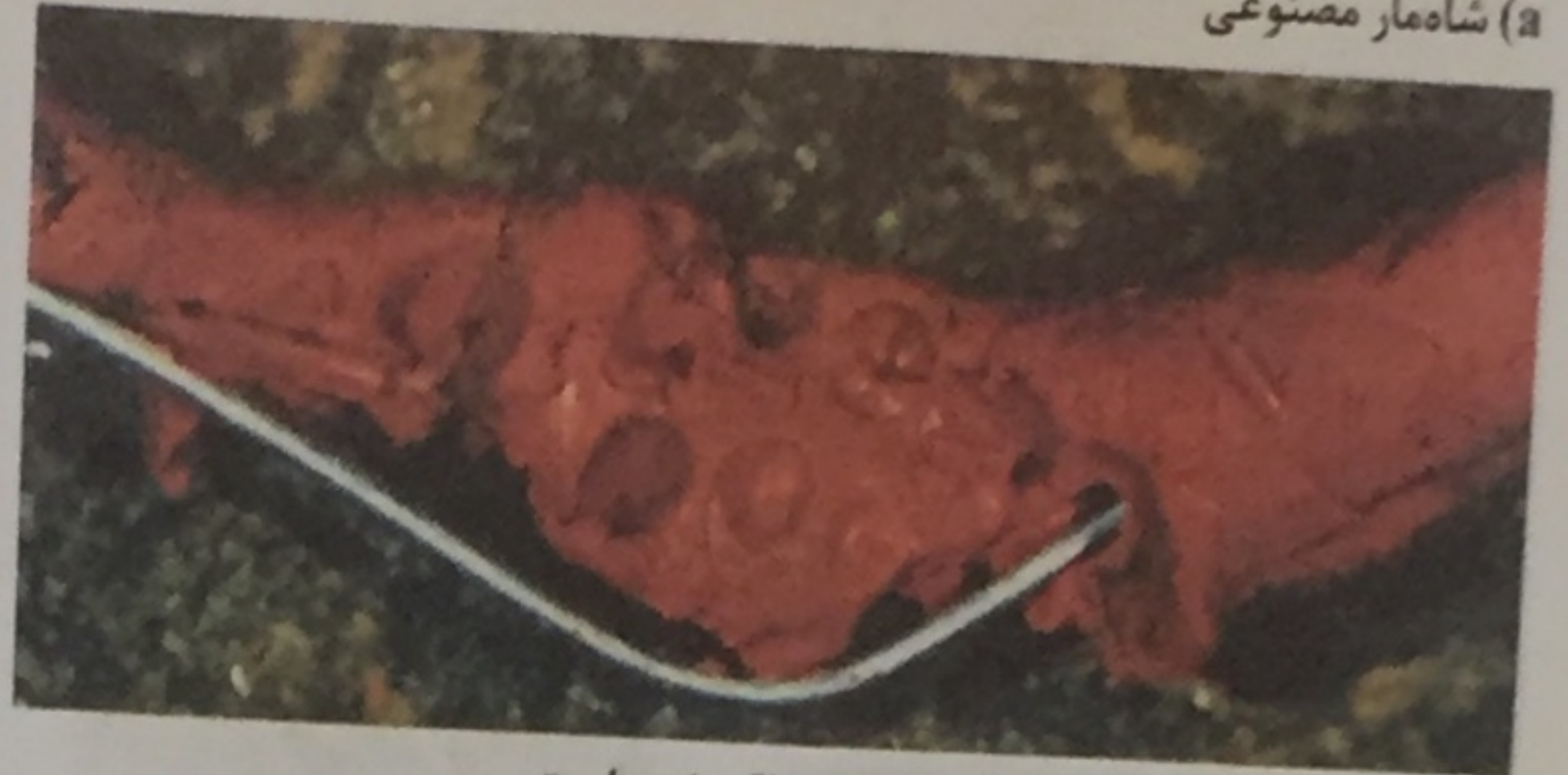
تقلید، تنها به حفاظت مارهای مخملی در مناطقی که در آنجا مار صدفی نیز وجود دارد، کمک کند. فرضیهٔ تقلید پیش‌بینی می‌کند که شکارچیانی که با رنگ‌آمیزی هشداردهندهٔ مارهای صدفی سازش یافته‌اند، به میزان کمتری به مارهای مخملی (در مقایسه با مناطقی که در آنها مار صدفی وجود ندارند)، حمله‌ور می‌شوند.

### *آزمایش‌های میدانی با مارهای مصنوعی*

برای آزمودن پیش‌بینی، هارکومب به وسیلهٔ سیم و پلاستیک صدها مار مصنوعی درست کرد. وی مارهای مصنوعی را به دو شکل گروه آزمون با الگوی حلقه‌های قرمز، سیاه و سفید به‌عنوان مشابهی برای شاه‌مارها، و گروه شاهد با رنگ قهوه‌ای برای مقایسه، درآورد (**شکل ۲۶-۱**).

محققین به تعداد برابر از دو گروه مارهای مصنوعی را در میادین آزمایش در کارولینای شمالی و جنوبی و همچنین منطقه‌ای که فاقد مارهای صدفی بود قرار دادند. پس از چهار هفته، دانشمندان مارهای مجازی را جمع‌آوری کردند تا ببینند چه تعداد از آنها مورد حمله قرار گرفته‌اند. آنها حملهٔ احتمالی به مارهای مجازی را با


a) شاه‌مار مصنوعی


b) مار قهوه‌ایی مصنوعی که مورد حمله واقع شده است.

▲ **شکل ۲۶-۱ مارهای مصنوعی که در آزمایش‌های میدانی برای بررسی فرضیهٔ تقلیدکاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.** یک خرس، مار قهوه‌ای مصنوعی در شکل (b) را جویده است.

دیدن محل‌های گازگرفتگی و چنگ افتادن روی بدنهٔ مارها بررسی کردند. بیشترین شکارچیان روباه‌ها، گرگ‌های صحرایی، و راکون‌ها بودند. هر چند برخی از خرس‌های سیاه نیز به مارهای سمی حمله کرده بودند (شکل ۲۶b-۱ را ملاحظه کنید).

اطلاعات به‌دست آمده با پیش‌بینی اصلی فرضیهٔ تقلیدکاری جور درمی‌آمد. مارهای حلقوی مجازی، در مقایسه با مارهای قهوه‌ای مجازی، تنها در مناطقی که در حوزهٔ جغرافیایی مارهای سمی صدفی بود، کمتر مورد حملهٔ شکارچیان قرار گرفتند. **شکل ۲۷-۱** آزمون‌های میدانی (در محل زندگی طبیعی حیوان) انجام گرفته توسط محققین را نشان می‌دهد. به‌علاوه این شکل، ساختاری را که در ادامهٔ این کتاب برای مثال‌های دیگر پرسش‌گری علمی در زیست‌شناسی مورد استفاده قرار می‌دهد، مشخص می‌کند.

### کنترل‌های آزمایشگاهی و تکرارپذیری

آزمایش تقلید مارها مثالی از **آزمایش کنترل‌شده** است که برای مقایسهٔ گروه آزمون (در این مورد، شاه‌مارهای مصنوعی) با گروه شاهد (مارهای مجازی قهوه‌ای) طراحی شده است. در بهترین حالت بایستی که گروه آزمون و شاهد تنها در **یک** عامل با یکدیگر متفاوت باشند. برای مثال در آزمایش تقلید مارها، تنها تأثیر رنگ‌آمیزی مارها روی رفتار شکارچی‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

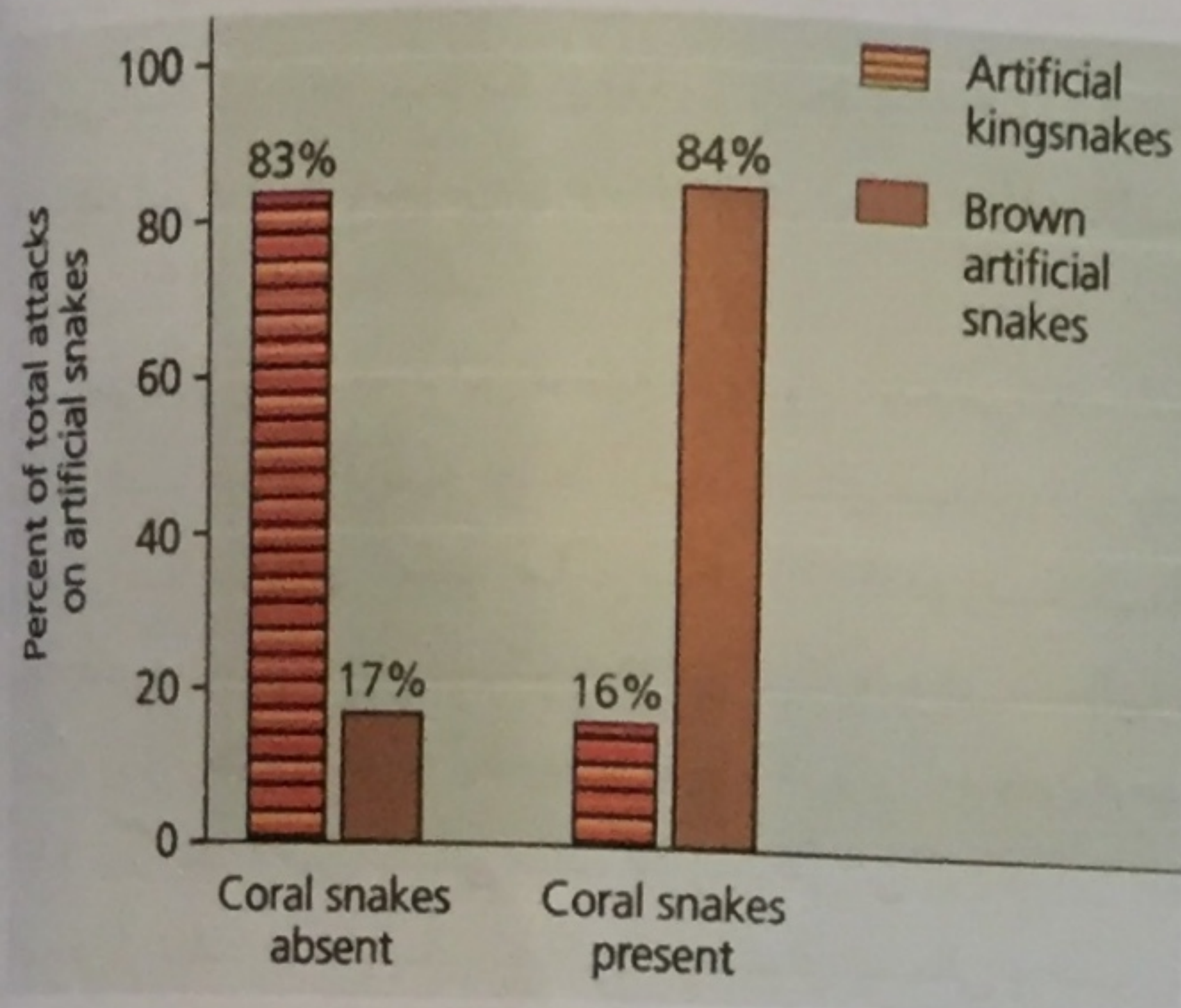
## پژوهش

▼ **شکل ۲۷-۱**

**آیا وجود مارهای صدفی سمی میزان حمله به مقلدان آنها (یعنی شاه‌مارها) را تغییر می‌دهد؟**

**آزمایش:** دیوید فنیگ (David Pfennig) و همکاران وی برای آزمودن فرضیهٔ تقلید، مارهای مصنوعی ساختند: شاه‌مارها تنها در مناطق حضور مارهای صدفی، از تقلید رنگ‌آمیزی هشداردهنده سود می‌برند. محققین تعداد برابری از شاه‌مارهای مصنوعی (گروه آزمون) و مارهای مصنوعی قهوه‌ای (گروه شاهد) را در ۱۴ منطقهٔ متفاوت قرار دادند؛ به‌طوری‌که نیمی از مارها در مناطق حضور همزمان هر دو مار و نیمی دیگر در مناطقی که مارهای صدفی حضور نداشتند، توزیع شدند. محققین پس از چهار هفته، مارهای مصنوعی را جمع‌آوری کردند و اطلاعات مربوط به حمله به مارهای مصنوعی را از روی قرائن و شواهد چنگال یا گازگرفتگی ثبت کردند.

**نتایج:** در مناطق دارای مارهای صدفی، بیشتر حمله‌ها به مارهای قهوه‌ای محدود شده بود. در جاهایی که مارهای صدفی حضور نداشتند، بیشتر حمله‌ها به شاه‌مارهای مصنوعی صورت گرفت.




**نتیجه‌گیری:** آزمایش‌ها از این فرضیه حمایت می‌کنند که تقلید از مارهای صدفی تنها زمانی که مارهای صدفی حضور دارند مؤثر است. این آزمایش‌ها همچنین فرضیهٔ دیگری را نیز امتحان کردند: که شکارچیان به‌طورکلی از مارهایی که روی بدن خود حلقه‌های روشنی دارند دوری می‌کنند. این فرضیه با توجه به اطلاعات حاصل از آزمایشی که مارهای مصنوعی دارای حلقه‌های روشن در عدم حضور مارهای صدفی شکارچیان را جذب نمی‌کردند رد شد. (شاه‌مارهای مصنوعی در آن نواحی بیشتر مورد حمله قرار می‌گرفتند زیرا که زمینهٔ روشن آنها موجب دسترسی بیشتر آنها نسبت به مارهای مصنوعی قهوه‌ای می‌شد).

**منبع:**

D. W. Pfennig, W. R. Harcombe, and K. S. Pfennig, Frequency-dependent Batesian mimicry, **Nature** 410:323 (2001).

**خودتان جستجو کنید:** مقالهٔ اصلی را بخوانید و تحلیل کنید.

**چه می‌شد اگر؟** اگر شکارچیان کارولینا به‌سمت هیچ‌یک از مارهایی که حلقه‌های روشن دارند، نمی‌رفتند چه نتیجه‌ای می‌گرفتند؟

بدون وجود گروه شاهد (کنترل)، محققین قادر نبودند تا عوامل دیگری مانند تعداد متفاوت شکارچی‌ها و یا تفاوت دما در دو منطقه که ممکن بود بالقوه باعث افزایش حملهٔ شکارچی‌ها شود را رد کنند. طراحی هوشمندانهٔ آزمایش باعث شد تا یگانه علت حملهٔ کمتر شکارچی‌ها به شاه‌مارهای مصنوعی در محدودهٔ مارهای صدفی، تفاوت رنگ‌آمیزی میان دو گروه آزمایش باشد. این تعداد مطلق حملات به شاه‌مارهای مصنوعی نبود که شمارش شد، بلکه تفاوت میان تعداد حملات به شاه‌مارها در مقایسه با حملات به مارهای قهوه‌ای حائز اهمیت بود.

یک اشتباه رایج در رابطه با معنای ***آزمایش کنترل‌شده*** آن است که تصور می‌شود دانشمندان، محیط را برای ثابت نگاه داشتن همه چیز، به استثنای متغیر مورد آزمایش، ثابت نگاه می‌دارند. اما این تصور در آزمایش‌های میدانی و حتی در شرایط بسیار کنترل‌شدهٔ آزمایشگاهی تقریباً غیرممکن است. محققین معمولاً متغیرهای ناخواسته را از طریق **خنثی کردن** و باطل کردن اثرات آنها توسط گروه شاهد، و نه از طریق حذف کردن آنها، تحت کنترل و «**نظارت**» خود درمی‌آورند.

ویژگی دیگر علم این است که مشاهدات و نتایج تجربی بایستی تکرار پذیر باشند. مشاهداتی که قابل اثبات نیستند ممکن است جالب یا حتی سرگرم کننده باشند، اما نمی‌توانند به عنوان مدارکی علمی به حساب آیند. عناوین روزنامه‌های دارای اخبار خلاصه در سوپر مارکت‌ها، شما را به این باور می‌رسانند که انسان‌ها گاهی با سر سگ به‌دنیا می‌آیند و اینکه برخی از هم‌کلاسی‌های شما ماورای زمینی هستند. شاهدهای کاذب آورده می‌شوند و عکس‌های مصنوعی کامپیوتری سرگرم کننده هستند اما متقاعد کننده نیستند. در علم مدارکی که از مشاهدات و تجربیات به‌دست می‌آیند تنها در صورتی متقاعد کننده هستند که قابل تکرار باشند. اطلاعاتی که دانشمندان از تحقیق بر روی تقلید مارها در کارولینا به‌دست آوردند، مشابه اطلاعاتی بود که از تحقیق بر روی گونه‌های مختلف مارهای صدفی و شاه مارها در آریزونا به‌دست آوردند. شما نیز اگر خواستید این آزمایش‌ها را تکرار کنید باید بتوانید نتایج مشابهی به‌دست آورید.

### نظریه‌ها در علم

*«این فقط یک نظریه است!»* استفادهٔ روزمره‌ای که ما از لغت **نظریه** می‌کنیم گاهی در مورد مطالبی است که ثابت نشده‌اند. اما معنای این لغت در علم چیز دیگریست. **نظریه** علمی چیست و فرق آن با فرضیه و حدس کدام است؟

نخست، اینکه دامنهٔ یک **نظریه**[1] علمی بسیار وسیع‌تر از فرضیه است. برای مثال این یک فرضیه است: «تقلید رنگ از مارهای سمی نوعی سازش است که مارهای غیرسمی را در مقابل صیادان حفظ می‌کند»؛ اما این یک نظریه است: «سازگاری‌های تکاملی حاصل انتخاب طبیعی هستند». نظریهٔ انتخاب طبیعی داروین، دلیل این گوناگونی وسیع در سازش‌ها است که این خود شامل موضوع تقلید نیز می‌شود.

دوم اینکه، یک نظریه آن‌قدر عمومیت دارد که بتوان بسیاری از فرضیه‌های جدید را با آن محک زد. برای مثال دو تن از محققین دانشگاه پرینستون، *پیتر و رزماری گرانت*، بر آن شدند تا با استفاده از نظریه انتخاب طبیعی، این فرضیه را که منقار سهره‌های جزایر گالاپاگوس به علت غذاهای در دسترس‌شان تغییر کرده‌اند را محک بزنند.

سوم اینکه، در مقایسه با فرضیه، مدارک بسیار زیادتری از نظریه حمایت می‌کنند. آن دسته از نظریه‌هایی که در دامنهٔ وسیعی از علم پذیرفته می‌شوند (مثل نظریه انتخاب طبیعی) به‌وسیلهٔ مشاهدات بسیار گسترده و مدارک بسیار زیاد تأیید شده‌اند. در واقع موشکافی در نظریه‌ها تا زمانی‌که فرضیه‌های مربوط به آنها را محک می‌زنیم، ادامه دارند.

با وجود اینکه مدارک بسیار زیادی از یک نظریهٔ خاص دفاع می‌کنند اما گاهی اوقات دانشمندان باید پس از حصول نتایجی که آن نظریه را رد می‌کنند در مورد آن نظریه تجدید نظر کرده یا حتی آن را باطل کنند. برای مثال نظریه وجود پنج فرمانرو در قلمرو زیستی از زمانی‌که فناوری‌های جدید برای مقایسهٔ سلولی و مولکولی، امکان مقایسه برای برخی از فرضیه‌های وجود ارتباط بین برخی از گونه‌ها را فراهم ساخت، شروع به انقضا کرد. اگر «حقیقتی» در علم وجود دارد امری نسبی است و عملاً براساس مدارک و شواهدی است که تا آن زمان وجود دارند.

### پرسش‌های مبحث ۳-۱

۱. فرق استدلال استقرایی با استدلال قیاسی را بیان کنید.
۲. در آزمون تقلید مارها، عامل متغیر چیست؟
۳. چرا انتخاب طبیعی یک نظریه محسوب می‌شود؟
۴. **چه می‌شد اگر؟** فرض کنید شما آزمایش تقلید مارها را به ناحیه‌ای از ویرجینیا بسط داده‌اید که هیچ‌یک از مارهای ذکر شده در آنجا زندگی نمی‌کنند. در این محدوده چه نتایجی را پیش‌بینی می‌کنید؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

1 - Theory

## ۴-۱ علم از رویکردی تعاونی و نقطه نظراتی گوناگون بهره می‌برد

فیلم‌ها و کارتون‌ها گاهی دانشمندان را به‌عنوان موجوداتی تنها که در آزمایشگاه‌های دربستهٔ خود مشغول کار هستند ترسیم می‌کنند. اما واقعیت این است که، علم یک فعالیت بسیار اجتماعی است. اغلب دانشمندان به‌صورت گروه‌هایی فعالیت می‌کنند که در آنها هم فارغ‌التحصیلان و هم دانشجویان عضو هستند (شکل ۲۸-۱). برای موفقیت در علوم باید فردی با روابط اجتماعی بالا بود. نتایج یک تحقیق تا زمانی‌که با سایر صاحب‌نظران در یک سمینار، مجله و یا اینترنت مطرح نشود هیچ ارزشی ندارد.

### بنا کردن بر روی تحقیق دیگران

دانشمند بزرگ *ایساک نیوتن* پیش‌تر گفت: «*توضیح کل طبیعت برای هر انسانی یا برای هر سنی کار بسیار سختی است. بسیار بهتر است که قسمت کوچکی از آن را با اطمینان انجام دهید، و بقیهٔ آن را برای سایرین باقی بگذارید که پس از شما می‌آیند ....*» هر شخصی که، به دلیل حس کنجکاوی در مورد چگونگی کار طبیعت، یک دانشمند می‌شود، قطعاً از اکتشافات بسیاری که سایرین قبل از او به‌دست آورده‌اند، بهره می‌برد.

دانشمندانی که در یک زمینهٔ تحقیقاتی کار می‌کنند اغلب با مشاهدات خود یا تکرار آزمایشات، ادعاهای یکدیگر را می‌آزمایند. اگر نتایج تجربی قادر به تکرار توسط همکاران علمی نباشد، این نقصان ممکن است به دلیل ضعف اساسی ادعای اولیه باشد، که بایستی اصلاح شود. از این جهت، علم خودش مأمور ادارهٔ خودش است. درستی و پیوستگی معیارهای بالای حرفه‌ای در گزارش نتایج، اصول یک کوشش علمی هستند. سرانجام، اعتبار اطلاعات تجربی کلید طراحی تحقیقات بیشتر است.



▲ **شکل ۲۸-۱ علم به‌عنوان فرایندی اجتماعی.** *در جلسات آزمایشگاهی، اعضای آزمایشگاه در تفسیر داده‌ها، آزمایش‌های اشکال‌یابی، و برنامه‌ریزی طرح‌های تحقیقی آینده به یکدیگر کمک می‌کنند.*

بعید نیست که چند دانشمند روی یک مسأله تحقیقی کار کنند. برخی دانشمندان از اینکه اولین کسی باشند که یک کشف مهم یا آزمایش کلیدی را انجام می‌دهند لذت می‌برند، در حالی‌که سایر دانشمندان از همکاری با سایر دانشمندانی که روی همان موضوع کارمی‌کنند، رضایت بیشتری دارند.

زمانی که دانشمندان روی یک موجود تحقیق می‌کنند، همکاری بین آنها تسهیل می‌شود. اغلب یک **موجود نمونه** وجود دارد - گونه‌ای که در آزمایشگاه به آسانی رشد کرده و خودش را به خوبی در اختیار تحقیقات قرار می‌دهد. از آنجایی که همهٔ موجودات از نظر تکاملی با هم مرتبطند، نکاتی که در مورد یک موجود نمونه آموخته می‌شود، اغلب شامل حال بسیاری از موجودات می‌شود. به عنوان مثال مطالعات ژنتیکی روی مگس میوه (*Drosophila melanogaster*) باعث شد که اطلاعات زیادی راجع به چگونگی کار ژن‌ها در سایر گونه‌ها، از جمله انسان‌ها به‌دست آوریم. دیگر موجودات نمونهٔ رایج، گیاه خردل *Arabidopsis thaliana*، کرم خاکی *Caenorhabditis elegans*، ماهی زبرا *Danio rerio*، موش *Mus musculus*، باکتری *Escherichia coli* هستند. همان‌طور که در طول این کتاب خواهید دید، به مشارکت‌های بسیاری که این موجودات و سایر موجودات نمونه در مطالعهٔ حیات داشته‌اند، توجه کنید.

زیست‌شناسان ممکن است از زوایای مختلفی مسائل مورد علاقهٔ خود را بررسی کنند. برخی زیست‌شناسان بر روی اکوسیستم تمرکز می‌کنند، در حالی‌که بعضی دیگر رویدادهای طبیعی را در سطح موجودات یا سلول‌ها بررسی می‌کنند. این کتاب شامل قسمت‌هایی است که از سطوح مختلفی به زیست‌شناسی نگاه می‌کنند. هر موضوع خاص را می‌توان از جنبه‌های گوناگون بررسی کرد، که در حقیقت مکمل هم هستند.

شما به عنوان یک دانش پژوه زیست‌شناسی می‌توانید سطوح مختلف زیست‌شناسی را به‌هم ارتباط دهید. زمانی‌که بعضی از موضوع‌ها در قسمت‌های مختلف بارها تکرار می‌شوند، با توجه کردن به آنها می‌توانید این مهارت را در خودتان پرورش دهید. یکی از این مباحث، بیماری سلول داسی شکل است، بیماری ژنتیکی که به خوبی شناخته شده و در بین ساکنان بومی آفریقا و سایر نواحی گرم، شایع است. موضوع دیگری که در سطوح مختلف در این کتاب بررسی می‌شود، تغییر سراسری آب و هوا است، که قبلاً در این فصل ذکر شد. بیماری سلول داسی شکل و تغییر سراسری آب و هوا در چندین قسمت از این کتاب دیده خواهند شد. امیدواریم که این موضوعات تکراری کمک کند تا با مطالبی که می‌آموزید و به هم ربط می‌دهید تصویر بزرگ و لذت‌بخشی از زیست‌شناسی در ذهن شما نقش ببندد.

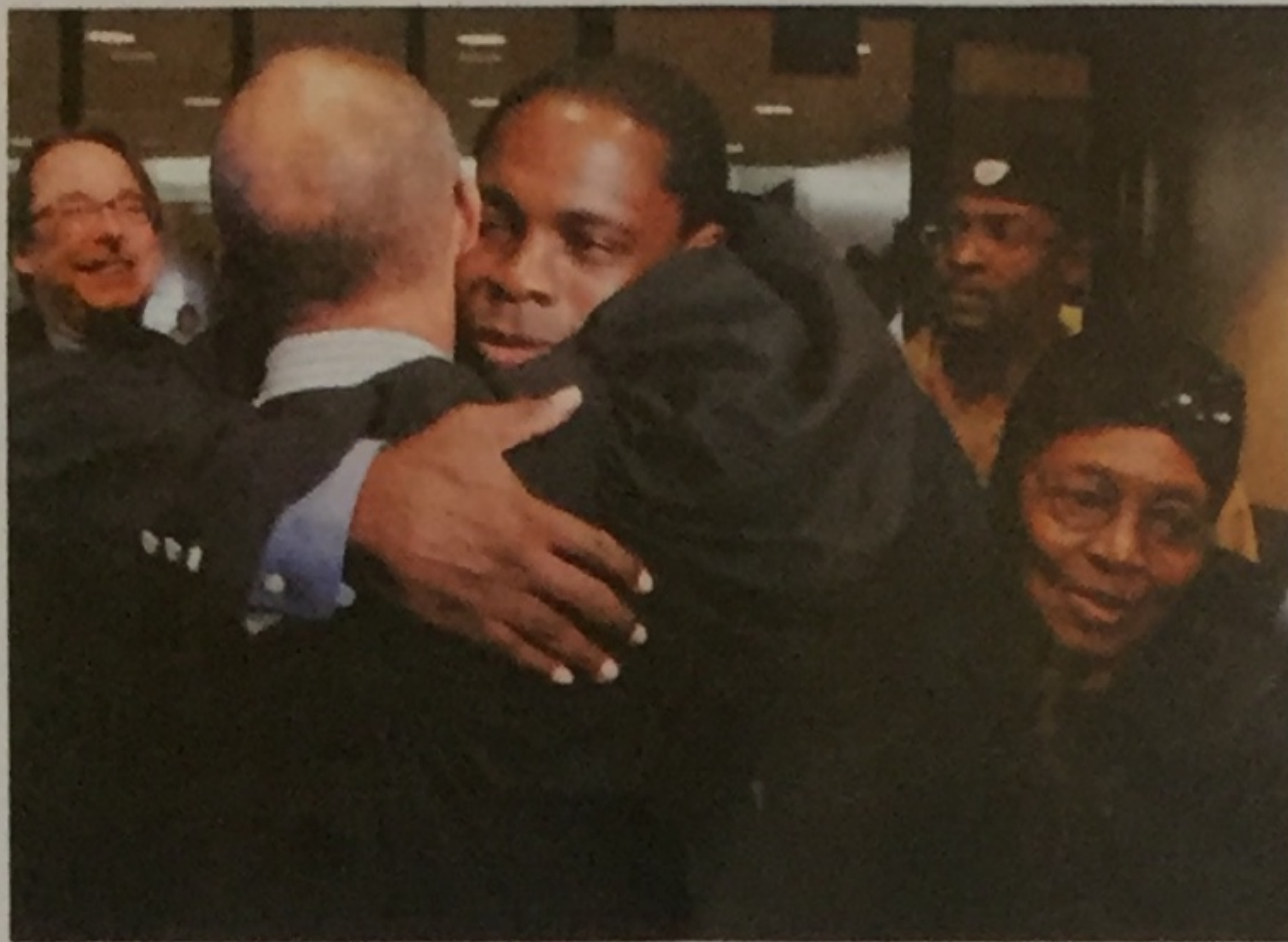
## علم، فناوری و جامعه

جامعهٔ زیست‌شناسی به‌طور کلی بخشی از جامعه است که در طول زمان تحت تأثیر فرهنگ‌های مختلفی قرار گرفته است. برخی از فیلسوفان علم بیان می‌دارند که دانشمندان آنقدر تحت تأثیر ارزش‌های فرهنگی و سیاسی قرار دارند که دیگر به علم، نسبت به سایر روش‌های فهم طبیعت، توجه بیشتری نمی‌شود. در طرف دیگر، مردمی هستند که در مورد تئوری‌های علمی طوری صحبت می‌کنند که گویی قوانین طبیعی هستند، تا تفسیرهای انسان‌ها از طبیعت. شاید واقعیت علم جایی بین این دو باشد؛ به ندرت کاملاً عینی، اما همواره به وسیلهٔ مشاهدات و آزمایشات تکرار پذیر و فرضیه‌های قابل آزمون و قابل تکذیب در حال بررسی است.

ارتباط بین علم و جامعه، هنگامی که فناوری را به آن اضافه کنیم، شفاف‌تر می‌شود. با اینکه علم و فناوری گاهی الگوهای تحقیقاتی مشابهی دارند، اما اهداف اصلی آنها متفاوت است. هدف علم فهمیدن وقایع طبیعی است. در مقابل، **فناوری** عموماً از اطلاعات علمی برای رسیدن به یک هدف خاص *استفاده* می‌کند. زیست‌شناسان و دیگر دانشمندان معمولاً از «اکتشافات» صحبت می‌کنند، در حالی که مهندسان و سایر رشته‌های فنی معمولاً بیشتر از «اختراعات» حرف می‌زنند. فواید این اختراعات به دانشمندانی می‌رسد که از فناوری جدید برای کار تحقیقاتی خود استفاده می‌کنند، بنابراین علم و فناوری به‌هم وابسته‌اند.

ترکیب توانمند علم و فناوری، تأثیر به‌سزایی بر روی جامعه دارد. گاهی سودمندترین کاربرد تحقیقات پایه از مشاهدات کاملاً غیر منتظره، به‌دست می‌آید. به‌عنوان مثال کشف ساختار DNA توسط واتسون و کریک در شصت سال قبل و دستاوردهای بعدی در علم DNA منجر به فناوری دستکاری DNA شد، که زمینه‌های کاربردی مانند پزشکی، کشاورزی و علوم جنایی را دگرگون ساخته است (شکل ۲۹-۱). اگر چه واتسون و کریک اظهار داشتند که کشف آنها روزی منجر به کاربردهای مهمی می‌شود، اما بعید است که آنها تمامی آن کاربردهای مهم را دقیقاً پیش‌گویی کرده باشند.

مسیرهایی که فناوری اتخاذ می‌کند، بیشتر به نیازها و خواسته‌های جاری مردم و شرایط اجتماعی بستگی دارد تا به حس کنجکاوی که علوم پایه را به پیش می‌برد. بحث پیرامون فناوری بیشتر بر سر این است که «آیا باید این‌کار را انجام دهیم» تا آنکه «آیا می‌توانیم آن کار را انجام دهیم». با پیشرفت فناوری، تصمیم‌گیری مشکل شده است. به عنوان مثال استفاده از فناوری DNA، برای فهمیدن اینکه آیا افراد خاصی حامل ژن‌های بیماری وراثتی هستند، در چه شرایطی درست است؟ آیا این آزمایش‌ها همواره باید داوطلبانه باشند، یا تحت شرایط خاصی الزاماً باید انجام شوند؟



▲ **شکل ۲۹-۱ فناوری DNA و بررسی صحنهٔ جرم.** در سال ۲۰۰۸، *بررسی جنایی نمونه‌های DNAی یک صحنهٔ جرم، باعث آزادی چارلز چاتمن از زندان شد. او حدود ۲۷ سال به‌خاطر زنای به عنفی که مرتکب نشده بود، در زندان به سر برد. این عکس قاضی جان کروزوت را نشان می‌دهد که آقای چاتمن را پس از برطرف شدن محکومیتش بغل کرده است. جزئیات بررسی جنایی DNA در فصل ۲۰ توضیح داده خواهند شد.*

آیا شرکت‌های بیمه یا کارکنان‌شان همانند بسیاری از اطلاعات دیگر که مربوط به سلامت شخصی است، به این اطلاعات نیز دسترسی دارند؟ از آنجایی که توالی‌یابی ژنوم افراد، سریع‌تر و ارزان‌تر می‌شود، این سؤالات اهمیت بسیار بیشتری پیدا می‌کنند.

این مسائل اخلاقی همان‌قدر که به سیاست، اقتصاد، و ارزش‌های فرهنگی مربوط می‌شوند، به علم و فناوری نیز مربوطند. کلیه افراد – نه تنها دانشمندان حرفه‌ای – حق دارند بدانند که علم چگونه‌کار می‌کند و مزایای بالقوه و خطرات احتمالی فناوری چیست؛ ارتباط بین علم، فناوری و جامعه اهمیت و ارزش رشته‌های زیست‌شناسی را افزایش می‌دهد.

## ارزش نقطه نظرات مختلف در علم

بسیاری از نوآوری‌ها در فناوری که بیشترین تأثیر را بر روی جامعهٔ بشری داشتند، از مسکن‌های مسیرهای تجاری نشأت گرفتند، جایی‌که ترکیبی از فرهنگ‌های مختلف بسیار، ایده‌های جدید را به‌وجود آورد. به‌عنوان مثال، ماشین چاپ که علم را در تمامی گروه‌های مختلف اجتماعی گسترش داد و سرانجام باعث ایجاد کتاب در دستان شما شد، در حدود سال ۱۴۴۰ توسط جانز گوتنبرگ آلمانی اختراع شد. این اختراع براساس چندین نوآوری از چین، از جمله کاغذ و جوهر، بود. کاغذ در امتداد مسیرهای تجاری

از چین به بغداد آورده شد، جایی که فناوری تولید انبوه کاغذ ظهور یافت. سپس این فناوری به اروپا مهاجرت کرد، همان‌طور که جوهر آبکی از چین آورده شد. این جوهر توسط گوتنبرگ به جوهر روغنی تبدیل شد. ماشین چاپ و سایر اختراعات مهم به برکت آمیزش فرهنگ‌های مختلف است.

علم در بین پزشکان، بیشتر از رشته‌های مشابه، از نقطه نظرات و زمینه‌های گوناگون استفاده می‌کند. اما جنسیت، نژاد، قوم و سایر صفات در بین دانشمندان چقدر تنوع دارد؟

به‌طور کلی جامعهٔ علمی معیارهای فرهنگی و رفتارهای اجتماع را نشان می‌دهد. بنابراین تعجب‌آور نیست که در بسیاری از کشورهای جهان، زنان و برخی اقلیت‌ها برای اینکه دانشمندان حرفه‌ای شوند، تاکنون با موانع بزرگی مواجه بوده‌اند. در طول ۵۰ سال گذشته، تغییر در نحوهٔ انتخاب شغل باعث افزایش نسبت زنان در زیست‌شناسی و برخی از علوم دیگر شده است، به گونه‌ای که در حال حاضر تقریباً نیمی از دانشجویان ارشد و Ph.D زیست‌شناسی را زنان تشکیل می‌دهند. اما در سطوح بالاتر حرفه‌ای، زنان و بسیاری از گروه‌های نژادی و قومی سرعت کمی داشته‌اند، و هنوز در بسیاری از رشته‌های علمی حضور کمرنگی دارند. این فقدان تنوع مانع پیشرفت علم است. هرچه صداهای بیشتری بر سر میز شنیده شود، تبادل علمی بیشتر، با ارزش‌تر و سودمندتر خواهد بود. مؤلفان این کتاب به همهٔ دانش‌آموزان زیست‌شناسی خوش‌آمد گفته و امیدوارند که شما از این رشتهٔ بسیار مهیج و زیبای علم - زیست‌شناسی - راضی و خوشحال شوید.

## پرسش‌های مبحث ۴-۱

۱. علم چه تفاوتی با فناوری دارد؟

۲. **چه می‌شد اگر؟** ژنی که باعث بیماری سلول داسی شکل می‌شود، در درصد بالایی از ساکنان صحراهای آفریقا نسبت به آفریقایی‌های ساکن ایالات متحده وجود دارد. حضور این ژن باعث مقداری حفاظت بیشتر در برابر مالاریا می‌شود؛ بیماری وخیمی که در صحراهای آفریقا شایع است. فرایند تکاملی که سبب این تفاوت در بین ساکنان این دو ناحیه شده است را توضیح دهید.

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

# 1 مرور فصل

## خلاصه مفاهیم کلیدی

### ۱-۱ موضوعاتی از این کتاب که مفاهیم زیستی متفاوت را به هم مرتبط می‌سازند



**موضوع ۱: در هر سطحی از سلسله مراتب زیست‌شناسی ویژگی‌های جدید پدیدار می‌شوند**

سلسله مراتب حیات به شکل زیر است:

بیوسفر⇐ اکوسیستم ⇐ جامعه⇐ جمعیت⇐ جاندار⇐ دستگاه⇐ اندام⇐ بافت ⇐ سلول⇐ اندامک⇐ مولکول⇐ اتم.

در هر سطحی وقتی از پائین به بالا برمی‌گردیم، براساس تعامل بین اجزای سطوح پائین‌تر، ویژگی‌های تازه‌ای به آن اضافه می‌شود. در رویکرد کاهش‌گرایی، سیستم‌های پیچیده به اجزای ساده‌تری تقسیم می‌شوند که قابلیت مدیریت و بررسی بیشتری دارند. در زیست‌شناسی سیستم‌ها، دانشمندان مدل‌هایی از سیستم‌های پیچیدهٔ زیست‌شناسی می‌سازند.




**موضوع ۲ : جانداران با محیط فیزیکی و جانداران دیگر میانکنش می‌کنند**

گیاهان مواد غذایی را از خاک و مواد شیمیایی را از هوا جذب می‌کنند و از انرژی خورشید استفاده می‌نمایند. میانکنش‌های بین گیاهان و سایر جانداران منجر به گردش مواد غذایی شیمیایی در اکوسیستم می‌شود.




**موضوع ۳: حیات به انتقال و تبدیل انرژی نیاز دارد**

همهٔ جانداران باید کار انجام دهند که خود نیازمند انرژی است. انرژی از خورشید به سمت تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان جریان دارد.

○ **موضوع ۴: ساختار و عملکرد در تمامی سطوح نظام زیستی با یکدیگر همبستگی دارند**



شکل یک **ساختار** زیستی با عملکرد آن متناسب است و برعکس.

○ **موضوع ۵: سلول‌ها واحد پایه‌ای ساختار و عملکرد در جانداران هستند**



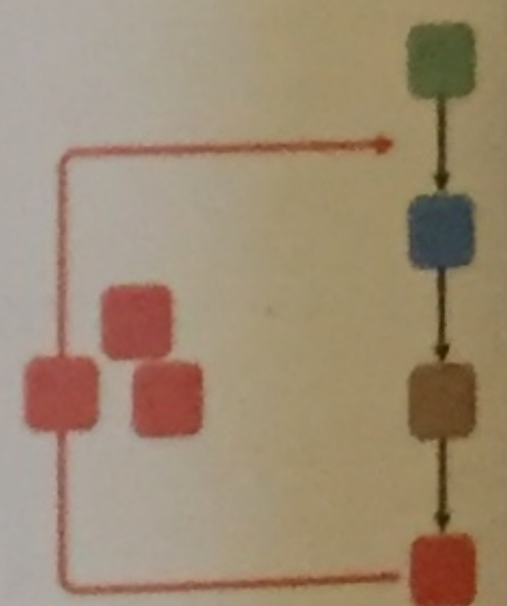
سلول پائین‌ترین سطحی از طبقه‌بندی است که می‌تواند تمامی فعالیت‌های مورد نیاز برای حیات را انجام دهد. سلول‌ها یا پروکاریوت هستند یا یوکاریوت. **یوکاریوت‌ها** اندامک‌های غشادار و هسته‌ای حاوی DNA دارند، اما **پروکاریوت‌ها** چنین اندامک‌هایی را ندارند.

○ **موضوع ۶: ادامهٔ حیات وابسته به انتقال اطلاعات وراثتی به شکل DNA است**



اطلاعات ژنتیکی به شکل توالی نوکلئوتیدها در DNA رمز می‌شوند. این DNA است که اطلاعات وراثتی را از والدین به فرزندان منتقل می‌کند. توالی‌های DNA، عملکرد سلول را برای تولید پروتئین برنامه‌ریزی می‌کنند، بدین صورت که ابتدا به شکل RNA رونویسی شده و سپس به شکل پروتئین خاصی ترجمه می‌شود، فرایندی که **بیان ژن** نام دارد. RNAهایی که به‌صورت پروتئین ترجمه نمی‌شوند کارهای مهم دیگری در سلول دارند. **ژنومیکس**، بررسی بزرگ‌مقیاس توالی‌های DNA در یک گونه و نیز مقایسهٔ توالی‌ها بین گونه‌های مختلف است.

○ **موضوع ۷: مکانیسم‌های بازخوردی سیستم‌های زیستی را تنظیم می‌کنند**



در خودتنظیمی منفی، تجمع محصول نهایی موجب کاهش سرعت واکنشی می‌شود که آن محصول را تولید می‌کند. در خودتنظیمی مثبت، محصول نهایی موجب تولید بیشتر محصول می‌شود. بازخورد نوعی تنظیم شایع در حیات در تمامی سطوح آن است، از سطح مولکولی تا اکوسیستم.

○ **تکامل و سیطرهٔ آن بر مفاهیم زیست‌شناسی**



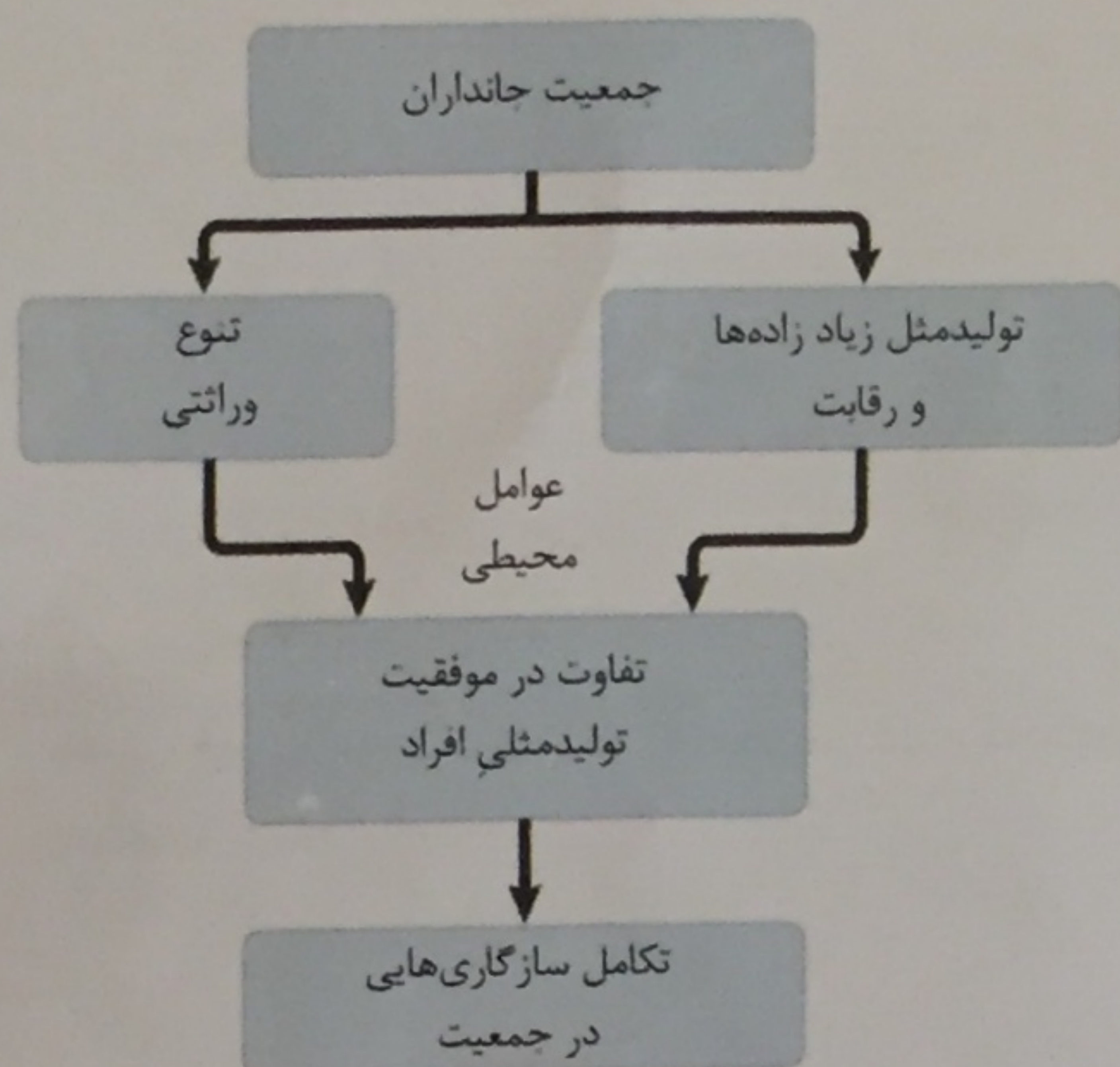
تکامل عامل وجود تنوع و وحدت در طبیعت است و موجب شده تا هر جانداری با محیط اطرافش سازگاری داشته باشد.

> ؟ **چرا تنوع، موضوع اصلی زیست‌شناسی در نظر گرفته می‌شود؟**

## ۱-۲ تکامل، علت وجود وحدت و تنوع در حیات است

○ زیست‌شناسان گونه‌ها را بر اساس سیستمی در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌کنند. قلمرو **باکتری‌ها** و قلمرو **آرکی‌آ** پروکاریوت‌ها را تشکیل می‌دهند. قلمرو **یوکاریوت‌ها** مشتمل بر فرمانروهای آغازیان، گیاهان، قارچ‌ها و جانوران است. با آنکه حیات بسیار متنوع است اما شواهدی بر وحدت کلی وجود دارد، که موجب وجود شباهت‌هایی در بیان همهٔ انواع گونه‌ها شده است.

○ داروین **انتخاب طبیعی** را به‌عنوان مکانیسمی برای سازش تکاملیِ جمعیت‌ها با محیط اطرافشان پیشنهاد کرد.




○ هرگونه، شاخه‌ای است که از درخت حیات جدا شده و هر چه به عقب‌تر برگردیم به اجداد دورتری می‌رسیم. تمامی حیات به‌واسطهٔ تاریخچهٔ دور تکاملی خود به هم متصل است.

> ؟ **چگونه انتخاب طبیعی به تکامل سازش‌هایی مانند برگ‌های ضخیم گیاه صدفی نشان‌داده شده در شکل‌های ۱-۱ و ۲-۱ منجر شده است؟**

## ۱-۳ در مطالعهٔ طبیعت، دانشمندان به مشاهده می‌پردازند و سپس فرضیه‌هایی را ارائه کرده و آزمایش می‌کنند

○ در **تحقیق علمی**، دانشمندان به مشاهده می‌پردازند (داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند) و با استفاده از **استدلال استقرایی** یک نتیجهٔ کلی می‌گیرند، که می‌تواند به یک **فرضیهٔ** قابل آزمون بسط پیدا کند. **استدلال قیاسی** پیش‌گویی‌هایی انجام می‌دهد که برای آزمایش فرضیه به‌کار می‌روند؛ اگر فرضیه‌ای درست باشد، ما آن را امتحان می‌کنیم، آنگاه می‌توانیم انتظار داشته باشیم که آن پیش‌گویی‌ها به واقعیت بپیوندند. فرضیه‌ها بایستی قابل آزمون و قابل تکذیب باشند؛ علم نمی‌تواند احتمال وقایع فوق‌طبیعی و اعتبار اعتقادات مذهبی را توضیح دهد.

○ **آزمایش‌های کنترل‌شده**، مانند بررسی تقلید در جمعیت‌های مارها، طوری طراحی شده‌اند که اثر یک عامل متغیر را در گروه‌های کنترل (شاهد) و گروه‌های مورد آزمایش نشان دهند. گروه‌های کنترل و آزمایش تنها در یک متغیر تفاوت دارند.

- یک **تئوری** علمی محدودهٔ وسیعی دارد، فرضیه‌های جدیدی را مطرح می‌کند و به وسیلهٔ مدارک زیادی حمایت می‌شود.

> ؟ استدلال استقرایی و استدلال قیاسی در فرایند تحقیق علمی چه نقش‌هایی دارند؟

## ۱-۴ علم از رویکردی تعاونی و نقطه نظراتی گوناگون بهره می‌برد

- علم یک فعالیت اجتماعی است. مطالعهٔ هر دانشمند روی مطالعهٔ سایر دانشمندانی بنا می‌شود که قبل از او آمده‌اند. دانشمندان بایستی قادر به تکرار نتایج یکدیگر باشند، بنابراین نتایج علمی بایستی بی‌عیب باشند. زیست‌شناسان از جنبه‌های مختلفی به مسائل نگاه می‌کنند؛ یافته‌های آنها یکدیگر را کامل می‌کنند.
- **فناوری** روش یا وسیله‌ای است که اطلاعات علمی را برای هدف خاصی به‌کار می‌گیرد که جامعه را متأثر می‌سازد. همواره تأثیر نهایی تحقیق پایه بلافاصله مشخص نمی‌شود.
- گوناگونی در بین دانشمندان باعث پیشرفت علم می‌شود.

> ؟ توضیح دهید چرا بررسی‌های متفاوت و زمینه‌های فکری گوناگون در بین دانشمندان اهمیت دارد؟

## خود را بیازمایید

با مراجعه به سایت www.masteringbiology.com به سؤالات چند گزینه‌ای ۱ تا ۱۰ پاسخ دهید.

۱۱- **رسم کنید** شکل ساده‌ای از سلسله مراتب زیستی، شبیه آنچه در شکل ۱-۴ می‌بینید رسم کنید اما از صخرهٔ مرجانی به‌عنوان اکوسیستم، ماهی به‌عنوان جاندار، معدهٔ ماهی به‌عنوان اندام و DNA به‌عنوان مولکول استفاده کنید. تمامی مراتب سلسله را مشخص کنید.

### ۱۲- ارتباط تکاملی

یک سلول نمونهٔ پروکاریوتی حدود ۳۰۰۰ ژن در DNAی خود دارد، درحالی‌که سلول انسان دارای حدود ۲۵،۰۰۰ ژن است. حدود ۱۰۰۰ عدد از این ژن‌ها در هر دوی این سلول‌ها به طور مشترک وجود دارند. براساس اطلاعات شما در مورد تکامل، توضیح دهید که چگونه این دو جاندار متفاوت دارای این تعداد ژن مشترک هستند؟ این سری ژن‌ها احتمالاً چه کاری انجام می‌دهند؟

### ۱۳- تحقیق علمی

براساس اطلاعات حاصل از بررسی تقلید مارها، فرضیهٔ دیگری پیشنهاد کنید که پژوهشگران بتوانند آن را بررسی کنند.

### ۱۴- دربارهٔ موضوع مطرح شده در زیر بنویسید

در ۱۰۰ تا ۱۵۰ کلمه در مورد این دیدگاه داروین بحث کنید که ***چگونه انتخاب طبیعی منجر به وحدت و گوناگونی حیات بر روی زمین شده است؟*** در بحث خود برخی از شواهد وی را ذکر کنید.

# UNIT I

# شیمی حیات

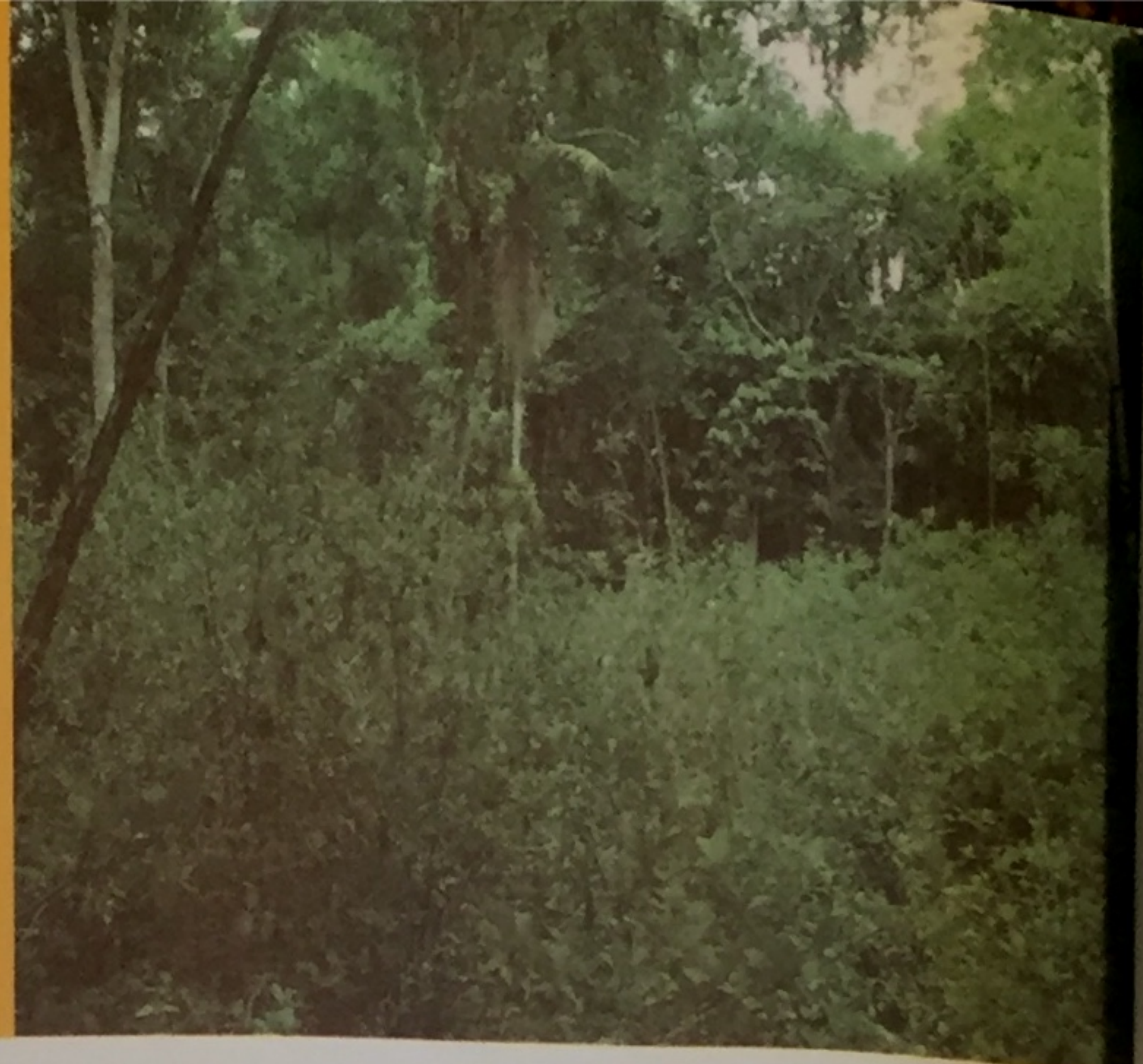
عناوین فصل‌ها

# UNIT 2

# The Cell

# 2

# اساس شیمیایی حیات



▲ شکل ۱-۲ چه کسی از این باغ مراقبت می‌کند؟

## مفاهیم کلیدی

۱-۲ ماده در حالت خالص از عنصر شیمیایی تشکیل شده است و در حالت ترکیب، مادهٔ مرکب نامیده می‌شود

۲-۲ ویژگی‌های یک عنصر به ساختار اتم‌های آن بستگی دارد

۳-۲ شکل و عملکرد مولکول‌ها به پیوندهای شیمیایی بین اتم‌های آن بستگی دارد

۴-۲ واکنش‌های شیمیایی مسئول تشکیل یا شکستن پیوندهای شیمیایی هستند

## نگاه کلی

### مثالی از ارتباط شیمی و زیست‌شناسی

جنگل‌های گرمسیری آمازون در آمریکای جنوبی، پنجره‌ای برای نشان دادن گوناگونی حیات بر روی زمین هستند. پرندگان رنگارنگ، حشرات و سایر حیوانات در میان هزاران درخت، بوته و گل‌های وحشی زندگی می‌کنند. گردشی میان جنگل در مسیر یک نهر، بسیاری از گونه‌های گیاهی را به شما نشان خواهد داد. مسافرینی که از قسمت‌های شمالی آمازون در پرو بازدید می‌کنند، شاهد مناظر خیره‌کننده‌ای هستند که شما در شکل ۱-۲ می‌توانید ببینید. این مناطق تقریباً به‌طور کامل توسط یک گونهٔ گیاهی اشغال شده است؛ نوعی درخت بید گل‌دار به‌نام *Duroia hirsute*. ممکن است مسافران تصور کنند که این گیاه توسط افراد بومی کاشته و نگهداری می‌شود، اما بومیان نیز همچون مسافران در حیرت‌اند! آنها این درختان را "devil's gardens" به‌معنای «*حیاط شیطان*» می‌نامند. این نام برخاسته از یک افسانهٔ قدیمی است که بیان می‌دارد «*جنگل دارای یک روح شیطانی است*».

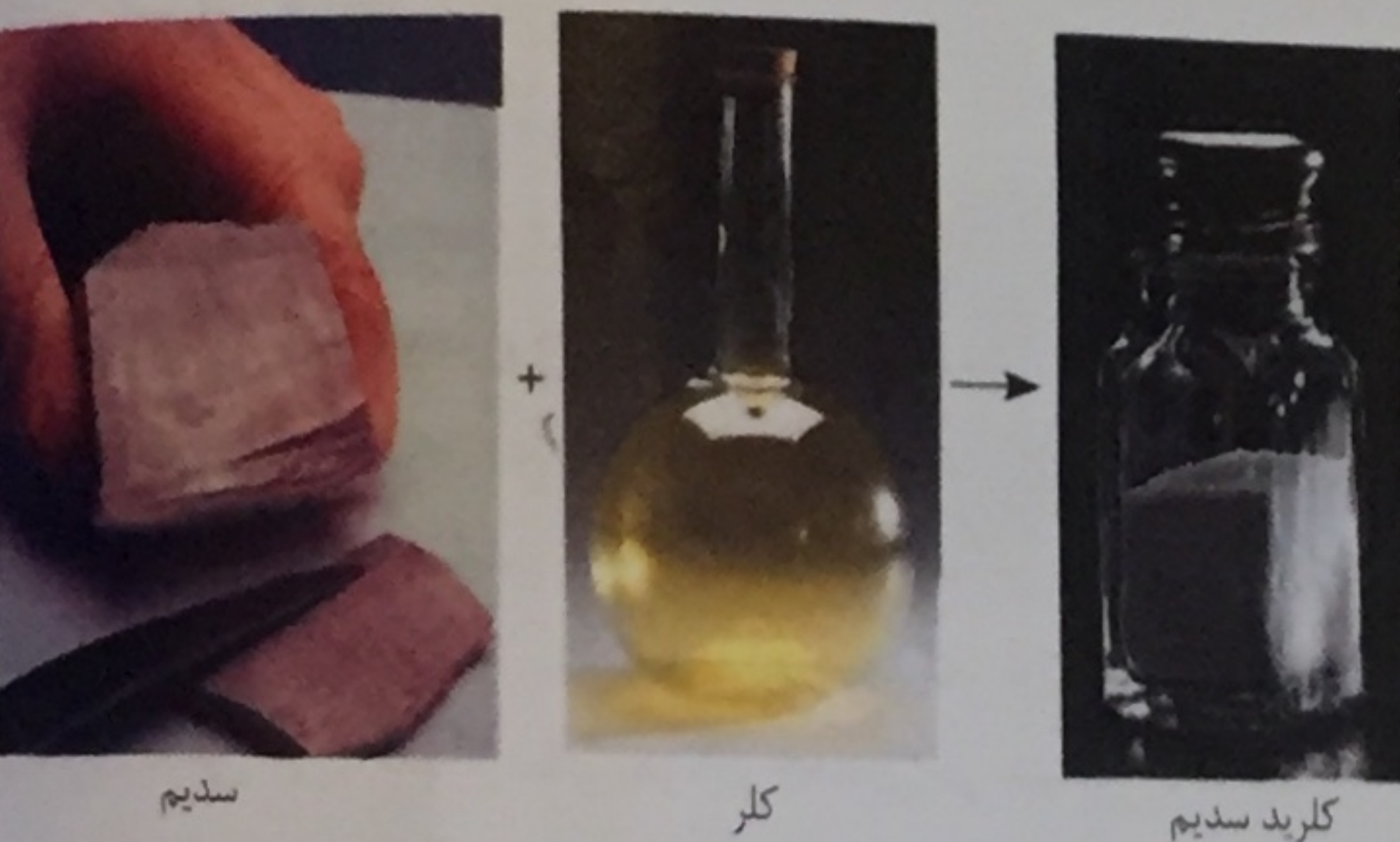
یک تیم پژوهشی به سرپرستی Deborah Gordon، به‌دنبال یک سفر تحقیقاتی، معمای حیاط شیطان را حل کرده‌است. شکل ۲-۲ چگونگی تحقیقات آنها را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که کشاورزانی که باغبانی این درختان را برعهده دارند، در حقیقت مورچه‌هایی هستند که در شاخه‌های میان‌تهی درختان *Duroia* زندگی می‌کنند. مورچه‌ها در واقع درختان *Duroia* را نمی‌کارند بلکه از رویش سایر گونه‌های گیاهی با تزریق مواد سمی که در بدنشان تولید می‌شود، جلوگیری می‌کنند. بدین ترتیب مورچه‌ها فضایی را ایجاد می‌کنند تا درختان *Duroia*، که به منزلهٔ خانهٔ مورچه‌هاست، به‌راحتی رشد کنند. بنابراین یک کلونی از مورچه‌های حیاط شیطان با داشتن سرپناهی همیشگی می‌توانند برای صدها سال زندگی کنند.

مشخص شده است که مادهٔ شیمیایی که مورچه‌ها برای وجین کردن حیاط خود استفاده می‌کنند فرمیک *اسید* است. این ماده توسط گونه‌های زیادی از مورچه‌ها تولید می‌شود. در حقیقت نام آن برگرفته از نام لاتین مورچه است. بیشتر اوقات این ماده در مورچه‌ها به‌عنوان یک ضدعفونی‌کننده برعلیه میکروب‌ها و انگل‌ها استفاده می‌شود. مورچهٔ حیاط شیطان اولین نوع مورچهٔ شناخته‌شده است که از این ماده برای وجین کردن استفاده می‌کند. این مورد استفاده از مواد شیمیایی، یکی از موارد بسیار مهم است که به کاربرد مواد شیمیایی در دنیای حشرات اضافه شده است. اهمیت نقش مواد شیمیایی در دنیای حشرات از قبل برای دانشمندان مشخص شده بود؛ مثل جلب توجه جفت و یا دفاع در برابر بیگانگان. تحقیق در مورد حیاط شیطان تنها یک نمونه از ارتباط علم شیمی با زیست‌شناسی است. در واقع طبیعت برخلاف تقسیم‌بندی آموزشی، به‌صورت قسمت‌های مختلف علمی نیست که بتوان آن‌را زیست‌شناسی، شیمی، فیزیک و ... نامید. زیست‌شناسان متخصص علم حیات هستند اما طبیعت مشتمل بر شیمی و فیزیک نیز هست. زیست‌شناسی علمی چند بعدی است.

این فصل به معرفی مفاهیمی از علم شیمی که در راستای علوم زیستی هستند می‌پردازد. ما ارتباط زیادی با مفاهیمی که در فصل ۱ مطالعه کردید برقرار خواهیم کرد. یکی از این مباحث مراتب ساختاری مواد است که در آن به بحث دربارهٔ جزئیات هر مرتبه از ساختار خواهیم پرداخت. در این فصل خواهیم دید که ویژگی‌های ساختاری در پایین‌ترین مرتبهٔ خود چگونه بر خواص زیستی مواد اثر دارند؛ مثل قرارگیری اتم‌ها، شکل‌گیری مولکول‌ها و نیز رویارویی این مولکول‌ها با هم در سلول‌ها. در هنگام گذرِ مسیرِ مطالعهٔ خود از مولکول‌ها تا رسیدن به سلول‌ها، از مرز فرضی حیات و غیرحیات عبور خواهیم کرد. در این فصل به بررسی اساس ترکیبات شیمیایی مواد آلی و غیرآلی خواهیم پرداخت.

## ۲-۱ ماده در حالت خالص از عنصر شیمیایی تشکیل شده است و در حالت ترکیب، مادهٔ مرکب نامیده می‌شود

جانداران ترکیبی از ماده[۱] هستند. ماده به چیزهایی گفته می‌شود که جرم دارند و فضا اشغال می‌کنند[۲]. ماده به شکل‌های گوناگونی که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را دارد دیده می‌شود. صخره‌ها، فلزات، روغن‌ها، گازها و بدن انسان تنها نمونه‌های اندکی از مجموعهٔ بی‌پایان موادی هستند که می‌بینیم.



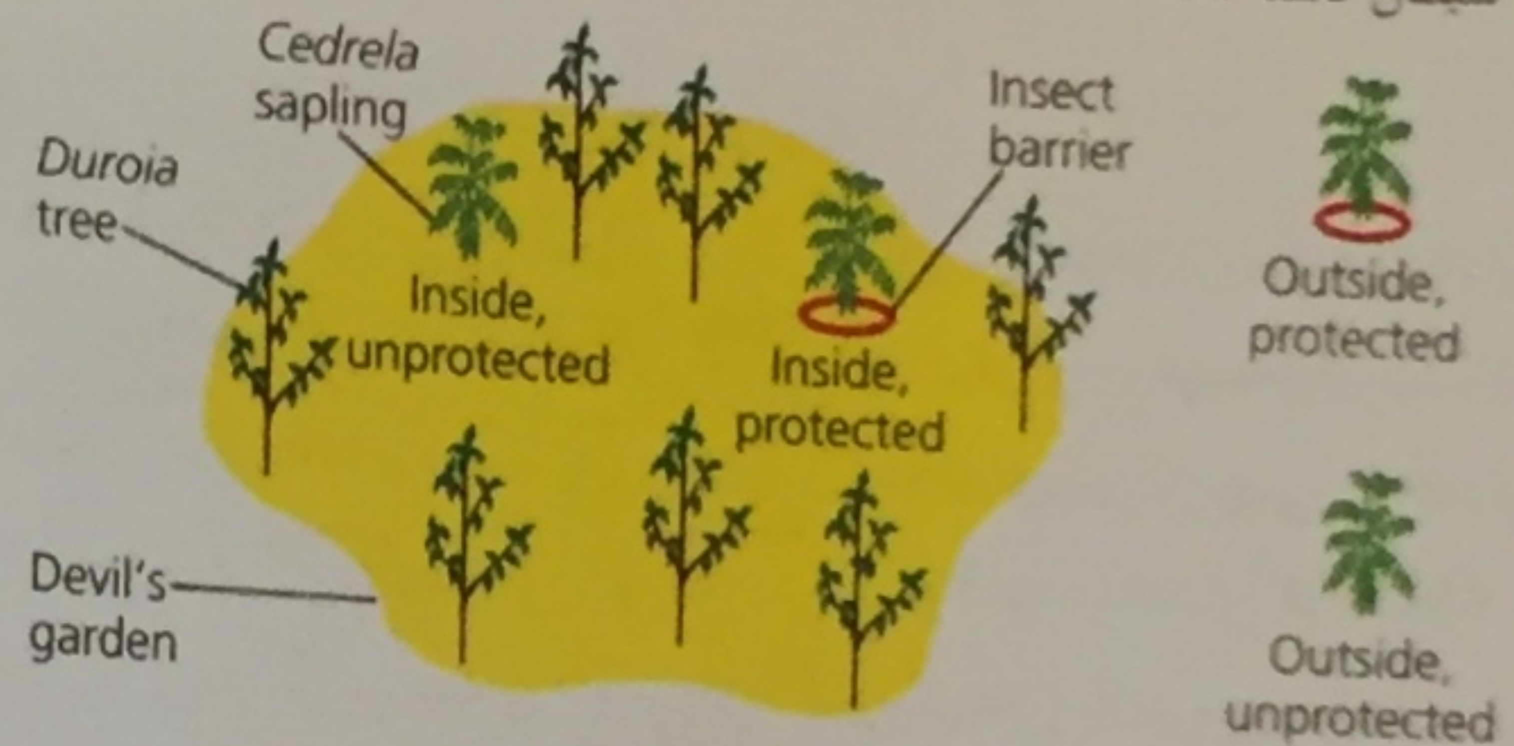

▲ **شکل ۳-۲ ویژگی‌های نوپدید یک مادهٔ مرکب.** فلز سدیم با گاز سمی کلر ترکیب شده و مادهٔ مرکب خوراکی کلرید سدیم یا همان نمک طعام را به‌وجود می‌آورد.

**پژوهش**

▼ **شکل ۲-۲ چه چیزی باعث تشکیل «حیاط شیطان» در جنگل‌های گرمسیری می‌شود؟**

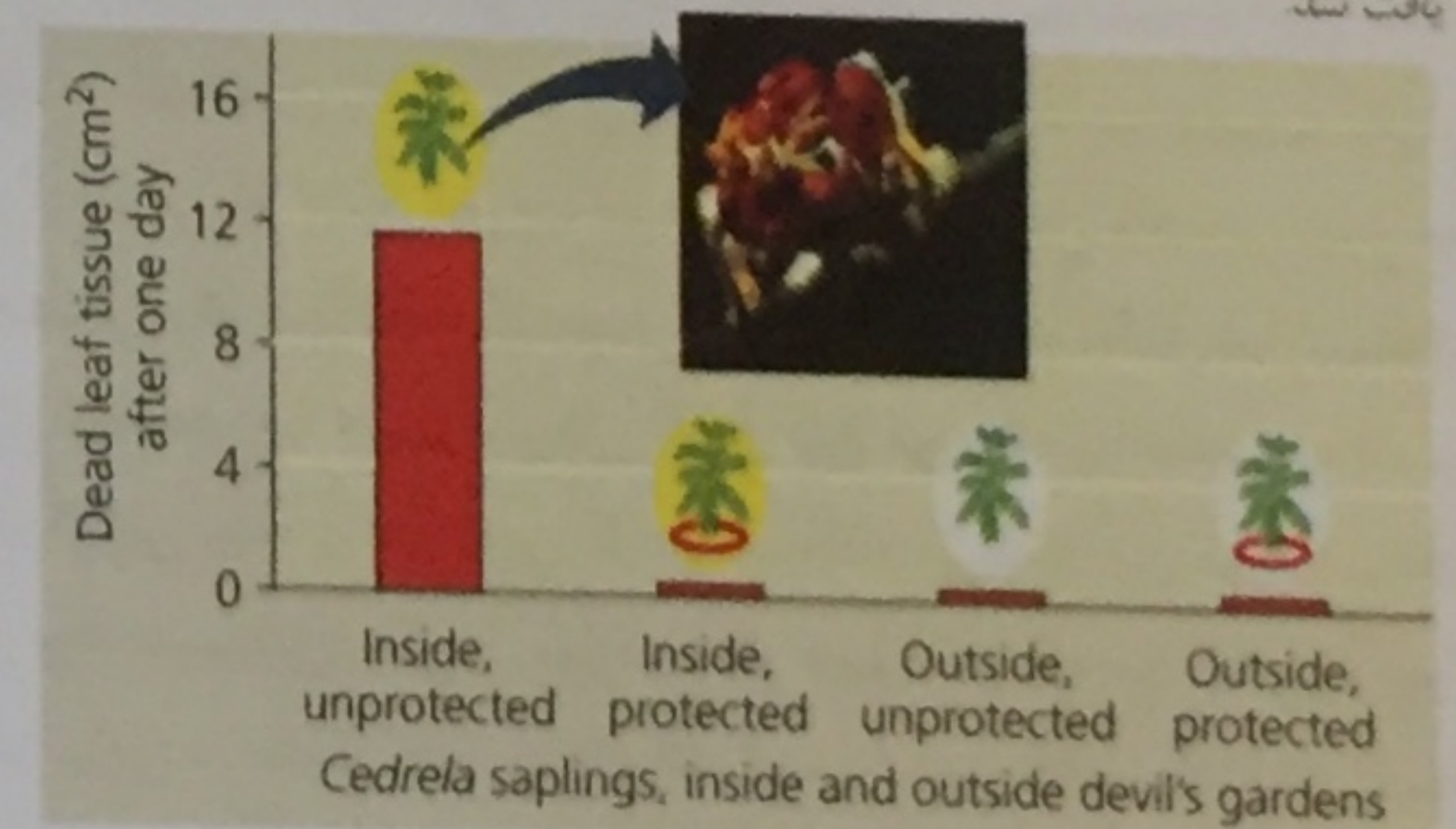
**آزمایش:** پژوهشی که زیر نظر Deborah Gordon، همراه با Micheal Greene و Megan Frederickson صورت گرفت، عامل ایجاد «حیاط شیطان» (وجود تنها یک گونهٔ درختی در یک محیط مشخص) را آشکار ساخت. یک فرضیه این بود که مورچه‌هایی که در این گیاه زندگی می‌کنند (Myrmelachista schumanni) یک نوع مادهٔ سمی از خود ترشح می‌کنند که مانع از رشد سایر گیاهان می‌شود. فرضیهٔ دیگر این بود که درختان Duroia خود ماده‌ای تولید می‌کنند که درختان رقیب را حذف می‌کند. برای آزمون این فرضیه‌ها Frederickson آزمایشی را در کشور پرو ترتیب داد.

دو نهال بومی غیر میزبان به‌نام Cedrela odorata در ۱۰ حیاط شیطان مختلف کاشته شد و در پائین ساقهٔ یکی از آنها یک سد چسبناک برای حشرات قرار داده شد. دو نهال دیگر بدون هیچ‌گونه سدی در ۵۰ متری خارج حیاط شیطان کاشته شد.




محققان به بررسی برگ‌های نهال Cedrela پرداختند و اندازهٔ قسمت‌های مردهٔ برگ را بعد از گذشت یک روز اندازه‌گیری کردند. آنها همچنین ترکیبات شیمیایی غدد سمی مورچه‌ها را بررسی کردند.

**نتایج:** مورچه‌ها اقدام به تزریق سم در برگ‌های نهال بدون سد در حیاط کردند (شکل را مشاهده کنید). بعد از یک روز، قسمت‌هایی از این برگ‌ها مردند (نمودار را ملاحظه کنید). نهال‌هایی که سد داشتند و آنهایی که خارج از حیاط کاشته شده بودند، سالم باقی ماندند. فرمیک اسید تنها ماده‌ای بود که در غدد سمی این مورچه‌ها یافت شد.




**نتیجه‌گیری:** مورچه‌های گونهٔ Myrmelachista schumanni با تزریق فرمیک اسید در برگ‌های درختان غیرمیزبان موجب مرگ آنها شدند. بنابراین، تنها درخت‌های میزبان در «حیاط شیطان» باقی ماندند.

**منبع:** M.E. Frederickson, M.J. Greene and D. M. G"ordon" Devil's gardens" bedevilled by ants. **Natuer**: 437:495-496 (2005)

**بیشتر جستجو کنید:** اصل مقالهٔ فوق را مطالعه نموده و تفسیر کنید.

**چه می‌شد اگر؟** اگر عدم رشد نهال‌های بدون سد در «حیاط شیطان» به‌علت مواد شیمیایی حاصل از Duroia بود، نتیجه چگونه می‌شد؟

---

1 - Matter

۲ - گاهی از واژهٔ وزن (weight) به جای جرم (mass) استفاده می‌کنیم؛ درحالی‌که این دو کاملاً با هم تفاوت دارند. جرم، مقدار ماده در یک شیء است، درحالی‌که وزن یک شیء اندازهٔ نیرویی است که به مقداری ماده توسط جاذبه وارد می‌شود. وزن یک فضانورد که مشغول راه رفتن در ماه است نزدیک به $\frac{1}{6}$ وزن او در زمین است، درحالی‌که جرم او در هر دو حالت یکسان است. درحقیقت واژهٔ وزن آرام آرام جایگزین جرم شد، درست مانند بسیاری از واژه‌های عامیانه‌ای که به‌جای یکدیگر به‌کار می‌روند [مترجم].

### عناصر و ترکیبات

مواد از عناصر ساخته شده‌اند. **عنصر**[1] به ماده‌ای گفته می‌شود که با واکنش‌های شیمیایی به اجزای دیگری شکسته نشود. امروزه شیمیدانان ۹۲ عنصر را در طبیعت شناسایی کرده‌اند؛ مثل طلا، مس، کربن و اکسیژن. هر عنصر با یک علامت شناخته می‌شود که معمولاً از حرف اول یا دو حرف اول نام آن گرفته شده است. برخی از این علامت‌ها از نام لاتین یا آلمانی عنصر مورد نظر گرفته شده است. برای مثال، نشانهٔ سدیم Na است که از کلمهٔ لاتینی Natrium گرفته شده است.

مادهٔ مرکب ماده‌ای است که از دو یا چند عنصر متفاوت که با نسبت معینی با هم ترکیب شده‌اند، ساخته شده باشد. برای مثال، نمک خوراکی یا همان کلرید سدیم (NaCl)، یک مادهٔ مرکب است که از ترکیب عناصر سدیم (Na) و کلر (Cl) با نسبت یک‌به‌یک (1:1) تشکیل شده است. سدیم خالص یک فلز و کلر خالص نوعی گاز سمی است. هنگامی که آنها به‌روش شیمیایی با هم ترکیب می‌شوند یک ترکیب خوراکی را می‌سازند. این مثال نمونهٔ ساده‌ای از مواد مرکب است که خواص ویژه‌ای را بروز می‌دهند. به بیانی دیگر، یک مادهٔ مرکب ویژگی‌های متفاوتی نسبت به عناصری که از آنها تشکیل شده است را داراست (**شکل ۳-۲**).

### عناصر حیات

تقریباً ۲۵ عنصر از ۹۲ عنصری که در طبیعت شناخته شده‌اند برای حیات ضروری هستند. از این میان تنها ۴ عنصر کربن (C)، اکسیژن (O)، هیدروژن (H) و نیتروژن (N)، ۹۶ درصد مادهٔ زنده را تشکیل می‌دهند. فسفر (P)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K) و شمار دیگری از عناصر، ۴ درصد باقی‌مانده از وزن بدن جانداران را تشکیل می‌دهند. **جدول ۱-۲** نام و درصد هریک از عناصر سازندهٔ بدن انسان را نشان می‌دهد. درصد این عناصر در دیگر جانداران نیز مشابه است.

**عناصر کم مصرف**[2] عناصری هستند که به‌مقدار کم مورد نیاز جانداران هستند. برخی از این عناصر مانند آهن (Fe) برای تمام اشکال زنده لازم است، درحالی‌که برخی دیگر تنها برای شکل خاصی از حیات ضروری‌اند. برای مثال در مهره‌داران (جانورانی که ستون مهره دارند)، عنصر ید (I) از اجزای ضروری هورمونی است که در غدهٔ تیروئید ساخته می‌شود. برای کارکرد طبیعی غدهٔ تیروئید انسان، روزانه، تنها ۰/۱۵ میلی‌گرم ید کافی است. یکی از نتایج کمبود ید در رژیم غذایی، رشد غیرطبیعی غدهٔ تیروئید است که **گواتر** نامیده می‌شود. در مکان‌هایی که نمک یددار به‌راحتی در دسترس باشد گسترش گواتر کاهش می‌یابد.

1 - Element
2 - Trace elements

**▼ جدول ۱-۲ عناصری که در بدن انسان یافت می‌شوند**

| | درصد وزن بدن انسان (شامل آب) | نام عنصر | علامت اختصاری |
|---|---|---|---|
| ٪ ۹۶/۳ | ۶۵ | اکسیژن | O |
| | ۱۸/۵ | کربن | C |
| | ۹/۵ | هیدروژن | H |
| | ۳/۳ | نیتروژن | N |
| ٪ ۳/۷ | ۱/۵ | کلسیم | Ca |
| | ۱ | فسفر | P |
| | ۰/۴ | پتاسیم | K |
| | ۰/۳ | گوگرد | S |
| | ۰/۲ | سدیم | Na |
| | ۰/۲ | کلر | Cl |
| | ۰/۱ | منیزیم | Mg |

عناصر کم‌مصرفی که در بدن یافت می‌شوند (کمتر از ۰/۰۱ درصد) شامل: بور (B)، کروم (Cr)، کبالت (Co)، مس (Cu)، فلوئور (F)، ید (I)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo)، سلنیم (Se)، سیلیکون (Si)، قلع (Sn)، وانادیم (V) و روی (Zn) می‌باشند.

**مطالعهٔ موردی:**

### تکامل تحمل به عناصر سمی

**تکامل** برخی گونه‌ها با محیط‌های حاوی عناصر سمی سازش پیدا کرده‌اند. یک مثال جالب توجه، *گیاهان سرپنتینی* هستند. سرپنتین مادهٔ معدنی یشمی مانندی است که حاوی عناصر سمی مانند کروم، نیکل و کبالت است. هر چند اغلب گیاهان قادر نیستند در خاک تشکیل شده از سنگ سرپنتین زندگی کنند، اما تعداد کمی از گونه‌های گیاهی برای این‌کار سازش پیدا کرده‌اند (**شکل ۴-۲**). احتمالاً انواعی از گونه‌های اجدادی غیر سرپنتینی که قادر به زندگی کردن در خاک‌های سرپنتینی بودند، در اینجا رشد کردند و به تبع آن انتخاب طبیعی باعث ایجاد گونه‌های متفاوتی شد که امروزه در این نواحی می‌بینیم.

### پرسش‌های مبحث ۱-۲

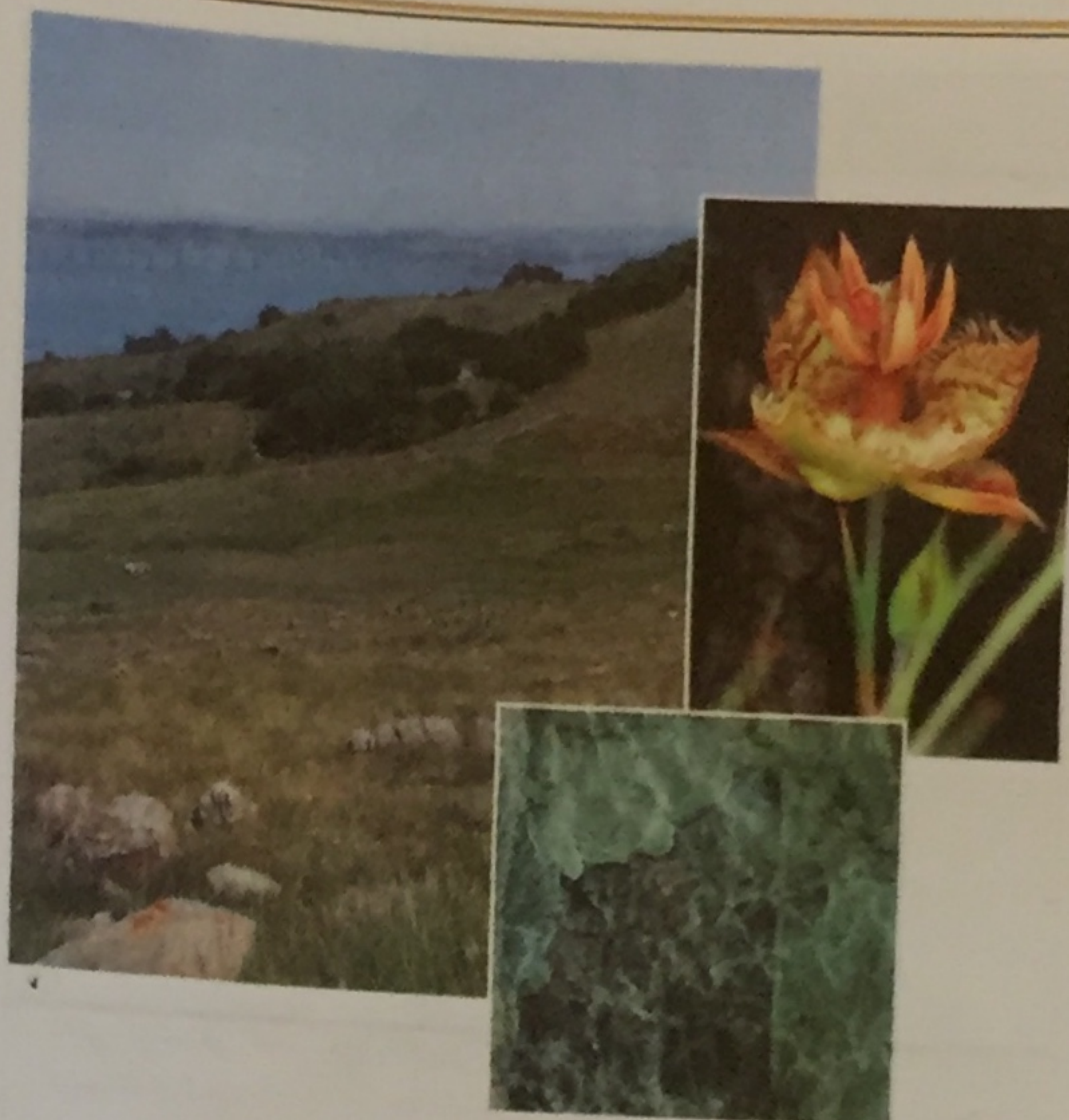
۱. *ارتباط دهید:* مبحث ویژگی‌های ظاهری در فصل ۱ را مرور کنید. دلیل ویژگی‌های ظاهری نمک طعام را توضیح دهید؟

۲. آیا یک عنصر کمیاب عنصری ضروری است؟ توضیح دهید.

۳. در بدن انسان، آهن عنصر کمیابی است که برای عملکرد صحیح هموگلوبین لازم است. هموگلوبین، اکسیژن را در گلبول‌های قرمز خون حمل می‌کند. کمبود آهن ممکن است چه اثراتی داشته باشد؟

۴. *ارتباط دهید:* مبحث انتخاب طبیعی در فصل ۷ را مرور کنید و توضیح دهید چگونه انتخاب طبیعی می‌تواند در تکامل گونه‌هایی نقش داشته باشد که خاک‌های سرپنتینی را تحمل می‌کنند.

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*



▲ **شکل ۴-۲ جمعیت گیاهان سرپنتینی.** *گیاهان داخل تصویر بزرگ‌تر بر روی خاک سرپنتینی رشد می‌کنند؛ خاکی که حاوی عناصری است که معمولاً برای گیاهان سمی هستند. تصاویر کوچک‌تر، سنگ سرپنتین و یکی از این گیاهان، سوسن* ***Tiburon Mariposa****، را از نزدیک نشان می‌دهند.*

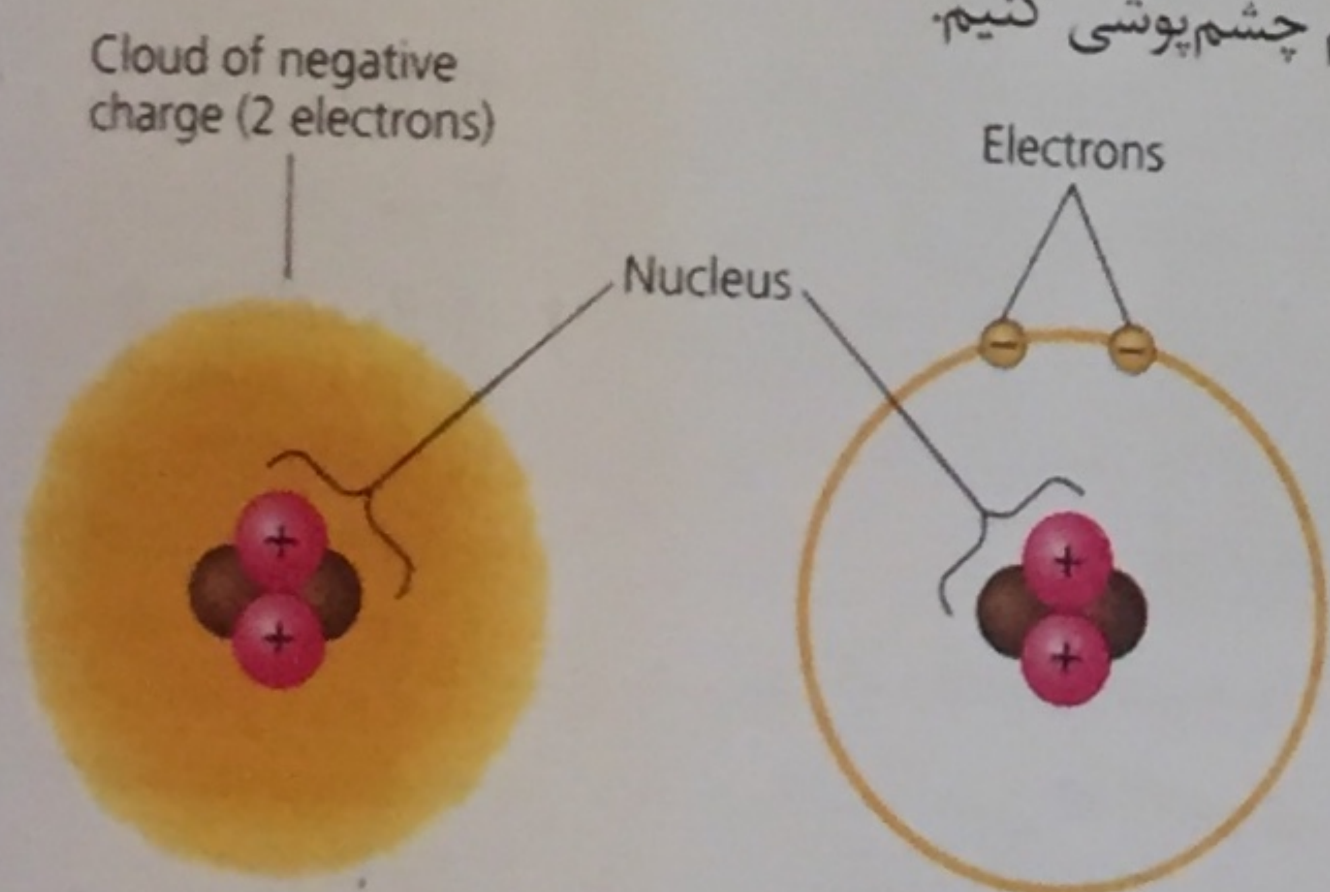
## ۲-۲ ویژگی‌های یک عنصر به ساختار اتم‌های آن بستگی دارد

هر عنصر از نوع ویژه‌ای از اتم‌ها تشکیل شده است که با اتم‌های دیگر عناصر تفاوت دارد. یک **اتم**[1] کوچک‌ترین جزء یک عنصر است که ویژگی‌های آن عنصر را تعیین می‌کند. اتم‌ها آن‌قدر کوچک‌اند که می‌توان اندازهٔ نقطهٔ تایپ شده در پایان این جمله را از کنار هم گذاشتن یک میلیارد از آنها پرکرد. برای نشانه‌گذاری اتم‌ها از همان علائم اختصاری که برای عناصر به‌کار می‌رفت استفاده می‌کنیم. برای مثال حرف C برای نشان دادن عنصر کربن و یک اتم کربن به‌تنهایی به‌کار می‌رود.

### ذرات سازندهٔ اتم‌ها

اگرچه اتم‌ها کوچک‌ترین جزئی هستند که خواص عنصری را که در ساختار آن به‌کار رفته‌اند دارا می‌باشند، اما این اجزای کوچک ماده، خود از ذرات ریزتری به‌نام ذرات سازندهٔ اتم‌ها به‌وجود آمده‌اند. فیزیک‌دانان اتم‌ها را به بیش از یکصد نوع از ذرات شکافته‌اند، اما از این میان تنها سه نوع از ذرات یعنی **الکترون‌ها**[2]، **پروتون‌ها**[3] و **نوترون‌ها**[4] به‌اندازهٔ کافی برای داشتن ارتباط با یکدیگر پایدارند. نوترون‌ها و پروتون‌ها به‌طور محکم در کنار یکدیگر قرار گرفته و یک تودهٔ بسیار محکم را در مرکز اتم به‌نام **هستهٔ اتم**[5] تشکیل می‌دهند. الکترون‌ها با سرعتی نزدیک به سرعت نور، نوعی ابر را پیرامون هسته تشکیل می‌دهند. برای مثال، **شکل ۵-۲** دو مدل ساختمانی اتم هلیم را نشان می‌دهد.

الکترون‌ها و پروتون‌ها بار الکتریکی دارند. هر الکترون یک واحد بار منفی و هر پروتون یک واحد بار مثبت دارد. یک نوترون، هم‌چنان‌که از نامش پیداست، از نظر بار الکتریکی خنثی است. پروتون‌ها با ایجاد بار مثبت در هسته و نیروی جاذبه با بارهای منفی باعث حرکت سریع الکترون‌ها در اطراف هسته می‌شوند. نوترون‌ها و پروتون‌ها از لحاظ جرم کاملاً برابرند و هریک در حدود $1/7 \times 10^{-24}$ گرم جرم دارند. گرم و سایر واحدهای اندازه‌گیری مرسوم، برای بیان جرم اشیای بسیار کوچک چندان مفید نیستند. بنابراین برای اتم‌ها و ذرات سازندهٔ آنها و نیز مولکول‌ها از یک واحد اندازه‌گیری به‌نام **دالتون** استفاده می‌شود که از نام *جان دالتون*، دانشمند انگلیسی، گرفته شده است که به پیشرفت تئوری اتمی در حدود سال‌های ۱۸۰۰ میلادی کمک کرد (دالتون همان واحد جرم اتمی[6] یا amu است که ممکن است شما در جای دیگر با آن روبه‌رو شده باشید). جرم نوترون‌ها و پروتون‌ها تقریباً به‌اندازهٔ یک دالتون است. از آنجایی‌که جرم الکترون‌ها حدود $\frac{1}{2000}$ یک نوترون یا یک پروتون است پس می‌توانیم از جرم آنها هنگام اندازه‌گیری جرم کل اتم چشم‌پوشی کنیم.




(a) این مدل، الکترون‌ها را به‌صورت ابری با بار منفی نشان می‌دهد.

(b) در این مدل ساده‌تر، الکترون‌ها به‌صورت دو کُرهٔ زرد رنگ کوچک بر روی دایره‌ای پیرامون هسته نشان داده شده‌اند.

▲ **شکل ۵-۲ الگوی ساده شده‌ای از یک اتم هلیم.** *هستهٔ هلیم دو نوترون (قهوه‌ای) و دو پروتون (صورتی) دارد. دو الکترون (زرد) با سرعت به‌دور هسته می‌چرخند. این مدل‌ها در اندازهٔ واقعی نیستند و اندازهٔ هسته را نسبت به ابر الکترونی، بیشتر تخمین می‌زنند.*

1 - Atom
2 - Electrons
3 - Protons
4 - Neutrons
5 - Atomic nucleus
6 - Atomic mass unit = amu

## عدد اتمی و جرم اتمی

تعداد ذرات سازندهٔ اتم‌ها در عناصر گوناگون متفاوت است. همهٔ اتم‌های سازندهٔ یک عنصر خاص، تعداد معینی پروتون در هستهٔ خود دارند. تعداد پروتون‌های یک عنصر را که برای هرعنصر منحصربه‌فرد است، **عدد اتمی** می‌نامند که به‌صورت زیرنویس در سمت چپ نشانهٔ هر عنصر نوشته می‌شود. برای مثال، علامت اختصاری $_{2}He$ نشان می‌دهد که اتم هلیم درون هستهٔ خود دو پروتون دارد.

خنثی بودن اتم از نظر بار الکتریکی بدان معنی است که پروتون‌ها و الکترون‌ها از نظر تعداد کاملاً برابر هستند. بنابراین عدد اتمی در اتمی که بارالکتریکی آن خنثی است، بیانگر تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آن اتم است.

تعداد نوترون‌های یک اتم را از کمیتی به‌نام **عدد جرمی** یا جرم اتمی می‌توان حدس زد. این کمیت در واقع بیانگر مجموع تعداد نوترون‌ها و پروتون‌های موجود در هستهٔ یک اتم است. عدد جرمی هر اتم در بخش بالا، پشت و سمت چپِ علامت عنصر نوشته می‌شود. برای مثال از این اختصارنویسی می‌توان برای نوشتن اتم هلیم به‌صورت $^{4}_{2}He$ استفاده کرد. از آنجایی‌که عدد اتمی نشان‌دهندهٔ تعداد پروتون‌هاست می‌توان تعداد نوترون‌ها را با کم کردن عدد اتمی از عدد جرمی به‌دست آورد. یک اتم $^{4}_{2}He$، دو نوترون دارد و یک اتم سدیم $^{23}_{11}Na$، ۱۱ پروتون، ۱۱ الکترون و ۱۲ نوترون دارد. ساده‌ترین اتم، هیدروژن است؛ $^{1}_{1}H$ زیرا بدون نوترون بوده و تنها یک پروتون و یک الکترون دارد که به‌دور هستهٔ آن حرکت می‌کند. تقریباً همهٔ جرم یک اتم در هستهٔ آن انباشته شده است، زیرا همان‌گونه که قبلاً گفته شد سهم الکترون‌ها از جرم اتم بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. از آنجایی‌که نوترون‌ها و پروتون‌ها هر کدام تقریباً جرمی نزدیک به یک دالتون دارند، عدد جرمی تقریباً برابر جرم کل یک اتم است، به همین دلیل عدد جرمی را **جرم اتمی**[1] نیز می‌نامند. بنابراین می‌توان گفت جرم اتمی سدیم ($^{23}_{11}Na$) ۲۳ دالتون است؛ اگرچه جرم دقیق آن برابر ۲۲/۹۸۹۸ دالتون می‌باشد.

## ایزوتوپ‌ها

همهٔ اتم‌های یک عنصر تعداد پروتون‌های یکسانی دارند، اما برخی از اتم‌های سازندهٔ یک عنصر نوترون‌های بیشتری دارند، بنابراین جرم اتمی آنها بیشتر است. این نوع اتم‌ها را که با سایر اتم‌ها متفاوتند، **ایزوتوپ‌های**[2] یک عنصر می‌نامند. عناصر موجود در

1 - Atomic mass
2 - Isotopes

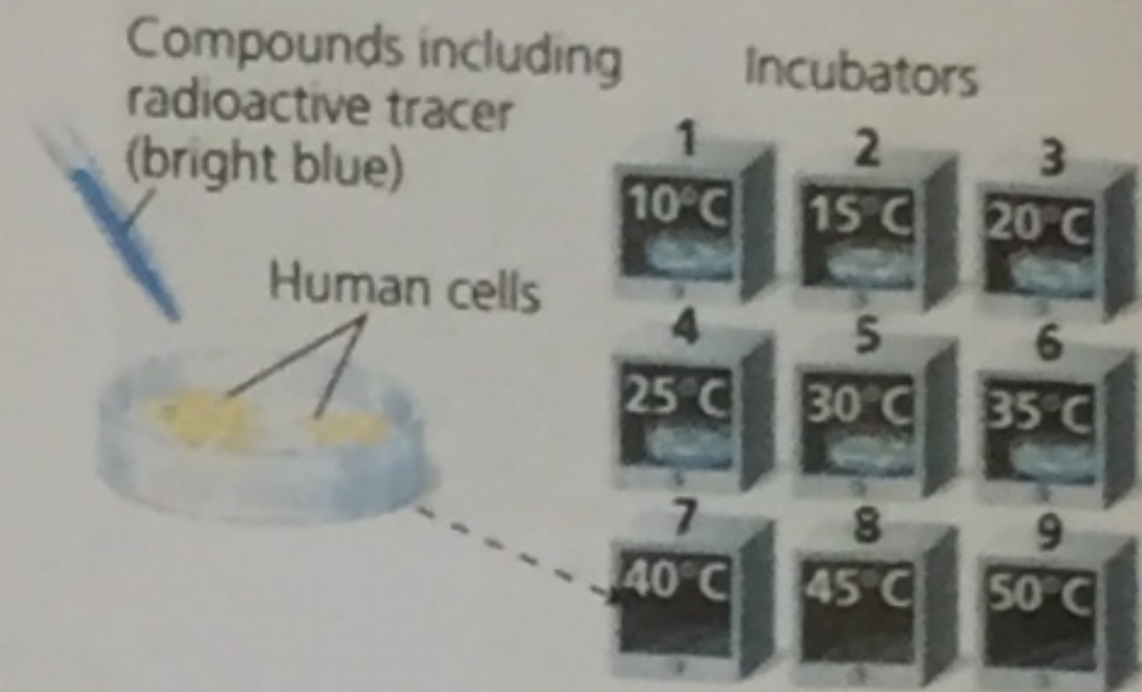
## پژوهش

**شکل ۶-۲**

**ردیاب‌های رادیواکتیو**

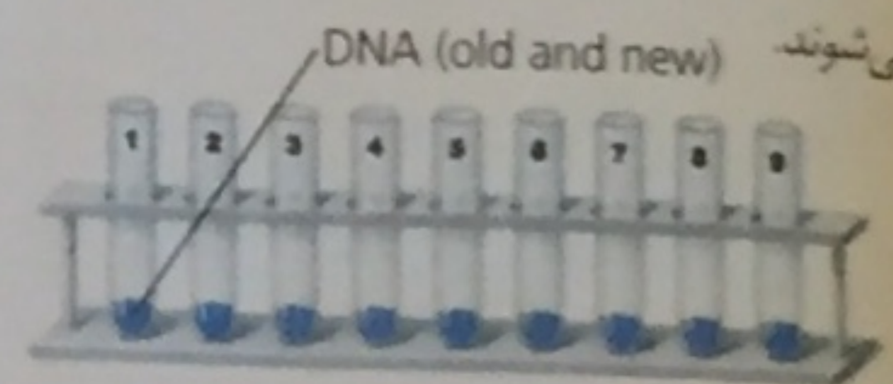
**کاربرد:** دانشمندان از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو به‌عنوان ردیاب برای نشان‌دار کردن مواد شیمیایی خاص استفاده می‌کنند. این مواد برای ردیابی مراحل متابولیسم یا جابایی موقعیت یک ماده در یک جاندار به‌کار می‌روند. در این مثال از ردیاب‌های رادیواکتیو برای تعیین اثر درجه حرارت بر سرعت همانندسازی *DNA* درون سلول‌ها استفاده می‌شود.

**روش کار:**




❶ اجزای لازم برای ساخت *DNA* به سلول‌های انسانی افزوده می‌شوند. یکی از این اجزاء با $^{3}H$ (یکی از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو هیدروژن) نشان‌دار می‌شود. نه پتری‌دیش از سلول‌ها در درجه حرارت‌های متفاوت نگهداری می‌شوند. سلول‌ها *DNA*های جدید را با استفاده از ردیاب رادیواکتیو $^{3}H$ می‌سازند.

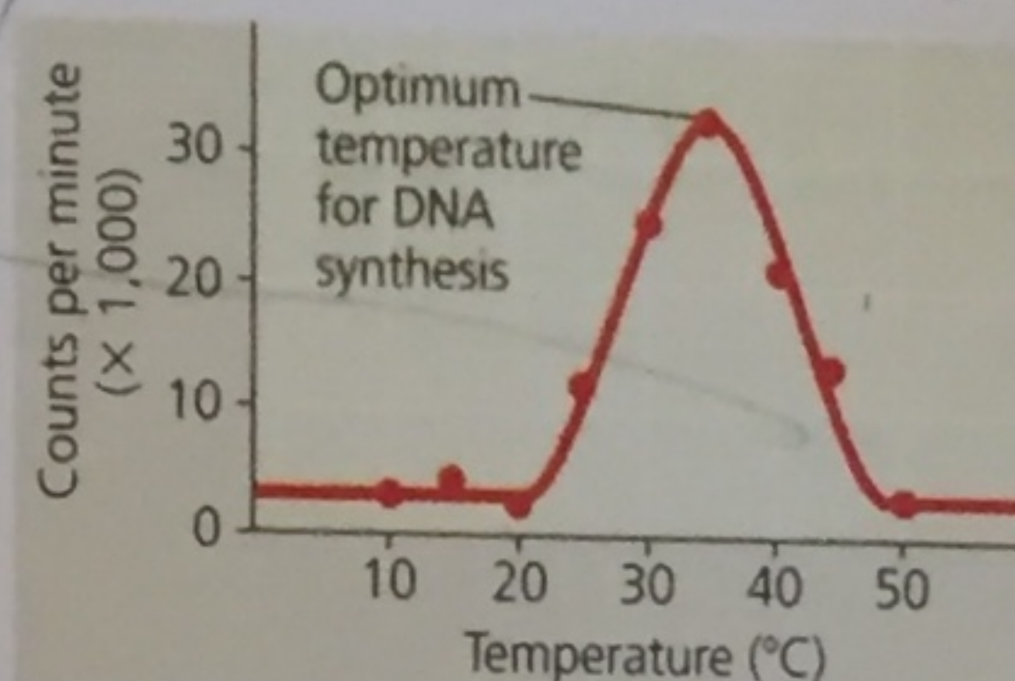
❷ سلول‌ها در لوله‌های آزمایش قرار داده می‌شوند، *DNA*هایشان جدا می‌شود، و مواد نشان‌داری که استفاده نشده‌اند، حذف می‌شوند.






❸ مایعی به‌نام مایع سینتلاسیون (*Scintillation*) به لوله‌های آزمایش اضافه شده و سپس در یک دستگاه اندازه‌گیری سینتلاسیون گذاشته می‌شوند. هنگامی‌که $^{3}H$ به‌کاررفته در *DNA*ی تازه ساخته شده شروع به از بین رفتن می‌کند، پرتوهای رادیواکتیو آن در برخورد با مایع سینتلاسیون باعث تولید نور از مایع می‌شود. میزان نور تابیده‌شده توسط دستگاه اندازه‌گیر سینتلاسیون اندازه‌گیری و ثبت می‌شود.

**نتایج:** فراوانی فلاش‌ها، که به‌صورت تعداد در دقیقه اندازه‌گیری و ثبت می‌شود، با مقدار ردیاب‌های رادیواکتیو موجود در هر لولهٔ آزمایش متناسب است و نشان‌دهندهٔ مقدار *DNA*ی تازه ساخته‌شده می‌باشد. در این آزمایش، هنگامی‌که نمودار تعداد تابش‌ها در دقیقه بر دما رسم شود، آشکارا نشان می‌دهد که دما روی سرعت همانندسازی *DNA* درون سلول‌ها نقش دارد و بیشترین مقدار همانندسازی در ۳۵ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد.

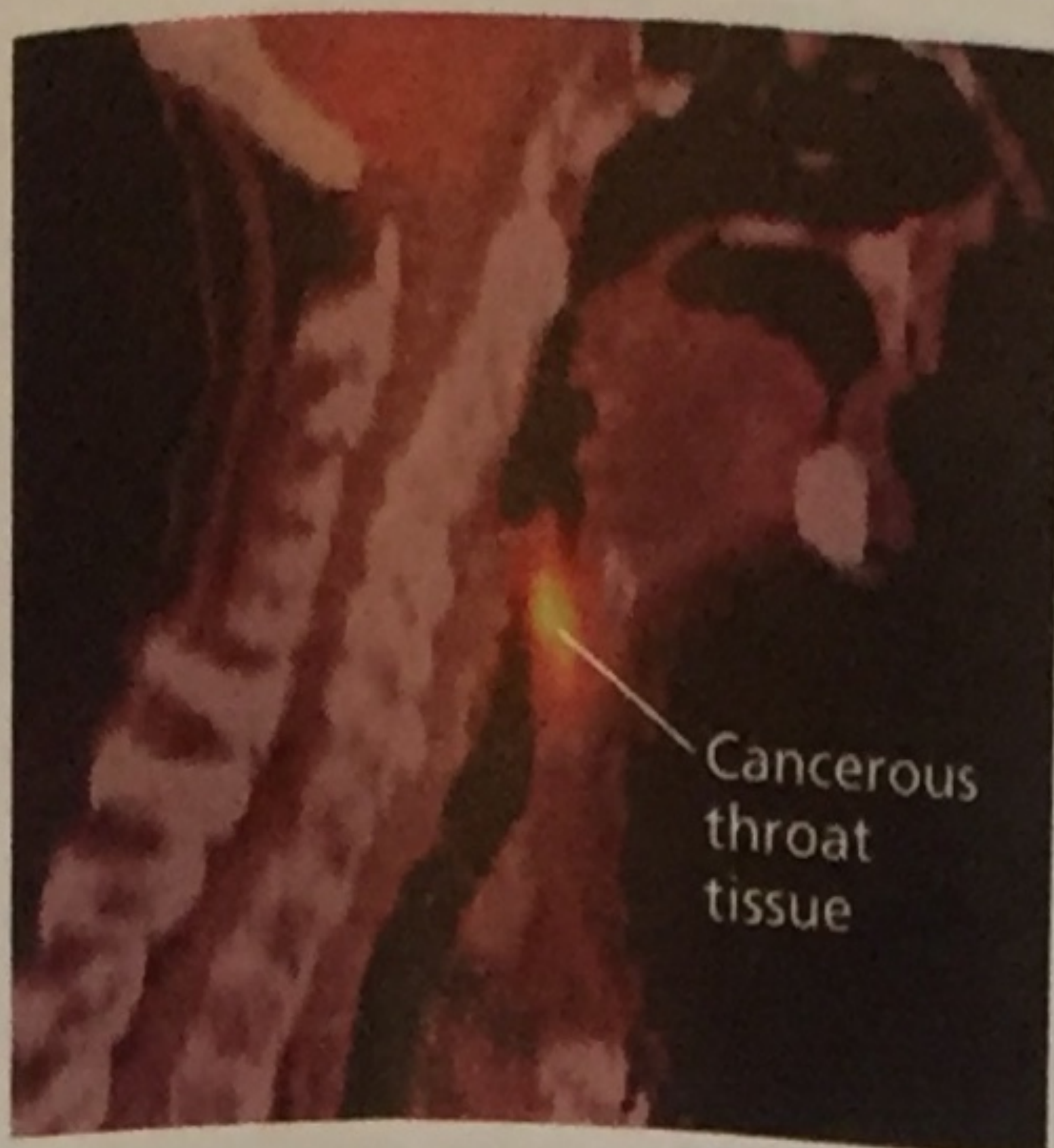


طبیعت مخلوطی از ایزوتوپ‌های خود هستند؛ برای مثال، سه ایزوتوپ برای عنصر کربن وجود دارد که عدد اتمی همهٔ آنها ۶ است. معمول‌ترین ایزوتوپ‌کربن در طبیعت، یعنی در حدود ۹۹ درصد آن، کربن ۱۲ ($^{12}_{6}C$) است که ۶ نوترون دارد. یک درصد باقی‌مانده را به‌طور عمده کربن ۱۳، یعنی ($^{13}_{6}C$) که ۷ نوترون دارد تشکیل می‌دهد. سومین ایزوتوپ این عنصر، که بسیار کمیاب هم هست، کربن ۱۴، یعنی ($^{14}_{6}C$) است که ۸ نوترون دارد. توجه داشته باشید که هر سه ایزوتوپ یادشده دارای ۶ پروتون هستند زیرا در غیر این‌صورت کربن نخواهند بود. اگرچه ایزوتوپ‌های یک عنصر در جرم خود کمی متفاوتند ولی همگی آنها در واکنش‌های شیمیایی، یکسان عمل می‌کنند. (عددی که به‌عنوان جرم اتمی یک عنصر ارائه می‌شود، مثل ۲۲/۹۸۹۸ Na، معمولاً میانگینی از جرم اتمی ایزوتوپ‌های طبیعی آن عنصر است.)

هر دو ایزوتوپ $^{12}C$ و $^{13}C$ ایزوتوپ‌های پایدارند، یعنی هستهٔ این اتم‌ها تمایلی به از دست دادن ذرات خود ندارند. هستهٔ یک **ایزوتوپ رادیواکتیو**[1]، گرایش خودبه‌خودی به واپاشی و متلاشی شدن دارد و از خود ذرات و انرژی آزاد می‌کند. هنگام فروپاشی، تغییراتی در تعداد پروتون‌ها صورت می‌گیرد که باعث تبدیل یک اتم به اتم دیگر از یک عنصر دیگر می‌شود. برای مثال، کربن رادیواکتیو وقتی دچار واپاشی شود به نیتروژن تبدیل می‌شود.

ایزوتوپ‌های رادیواکتیو کاربردهای فراوانی در پژوهش‌های زیست‌شناسی دارند. در فصل ۲۵ خواهید آموخت که چگونه پژوهشگران با اندازه‌گیری فعالیت رادیواکتیو در سنگواره‌ها می‌توانند به سن آثار مربوط به حیات گذشته پی ببرند. از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو همچنین در ردیابی اتم‌ها در متابولیسم یا همان واکنش‌های شیمیایی که در بدن جانداران رخ می‌دهد، استفاده می‌شود (**شکل ۶-۲**). سلول‌ها از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو همانند دیگر ایزوتوپ‌های یک عنصر استفاده می‌کنند، با این تفاوت که ایزوتوپ‌های رادیواکتیو را به‌سادگی می‌توان ردیابی کرد.

ردیاب‌های رادیواکتیو ابزار تشخیصی مهمی در پزشکی هستند. برای نمونه، برخی از ناهنجاری‌های کلیوی با تزریق مقادیر کمی از مواد دارای ایزوتوپ‌های رادیواکتیو به خون و اندازه‌گیری مقدار آن در ادرار مشخص می‌شوند. ردیاب‌های رادیواکتیو همچنین همراه با ابزارهای پیشرفتهٔ تصویربرداری به‌کار برده می‌شوند. برای مثال، اسکنرهای PET می‌توانند فرایندهای شیمیایی را مانند آنچه در رشد سلول‌های سرطانی رخ می‌دهد، نشان دهند (**شکل ۷-۲**).




▲ **شکل ۷-۲ اسکن PET، نوعی کاربرد پزشکی برای ایزوتوپ‌های رادیواکتیو.** *اسکن PET، که نام آن از حروف ابتدای کلمات Positron-emission tomography گرفته شده است، موقعیت‌های فعالیت شدید شیمیایی را در بدن آشکار می‌کند. رنگ زرد روشن که در شکل دیده می‌شود ناحیه‌ای با سطح افزایش‌یافته‌ای از گلوکز نشان‌دارشده با رادیواکتیو را نشان می‌دهد، که به نوبهٔ خود نشان دهندهٔ فعالیت متابولیکی بالا است. این خصوصیت یک ویژگی بافت سرطانی است.*

اگرچه ایزوتوپ‌های رادیواکتیو در پژوهش‌های زیست‌شناسی و پزشکی بسیار سودمند هستند اما تابش‌های ناشی از ایزوتوپ‌ها می‌توانند با آسیب رساندن به مولکول‌های درون سلول، حیات آنها را در معرض تهدید قرار دهند. شدت این آسیب‌ها به نوع و مقدار تابشی که جاندار می‌گیرد بستگی دارد. یکی از جدی‌ترین آسیب‌های محیطی، تابش‌های انفجار هسته‌ای است. با این حال مقدار اکثر ایزوتوپ‌هایی که در تشخیص‌های پزشکی به‌کار می‌روند نسبتاً بی‌خطر هستند.

## سطوح انرژی الکترون‌ها

مدل‌هایی که از ساختمان اتم‌ها در شکل ۵-۲ نشان داده شده، اندازهٔ هسته را نسبت به حجم کل اتم، بسیار اغراق‌آمیز بیان می‌کند. اگر یک اتم هلیم را به اندازهٔ استادیوم آزادی فرض کنیم، هستهٔ آن به اندازهٔ یک مداد پاک‌کن در مرکز میدان بازی خواهد بود و الکترون‌ها به اندازهٔ دو پشهٔ کوچک پیرامون استادیوم پرواز می‌کنند. اتم‌ها دارای فضاهای خالی بسیار فراوانی هستند.

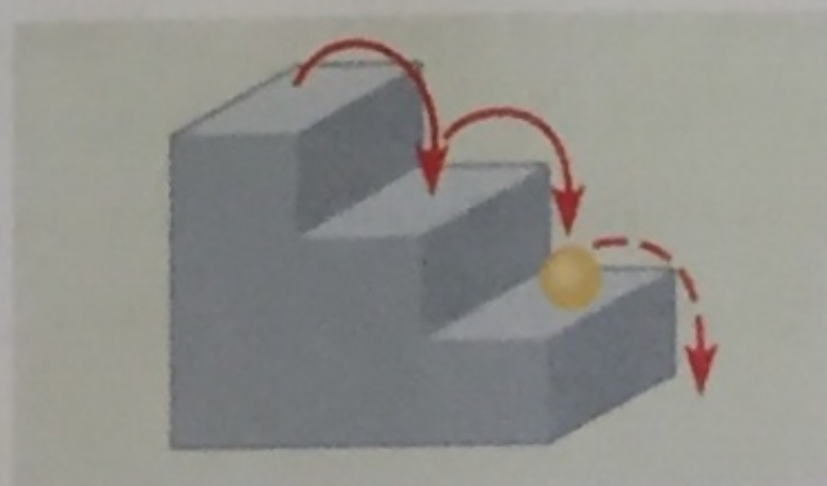
هنگامی که دو اتم در یک واکنش شیمیایی به‌یکدیگر نزدیک می‌شوند، هستهٔ آنها به اندازهٔ لازم برای واکنش به‌یکدیگر نزدیک نمی‌شوند. از بین سه نوع ذرات سازندهٔ اتم‌ها که پیش از این شرح داده شد، تنها الکترون‌ها مستقیماً در واکنش‌های شیمیایی بین دو اتم نقش دارند.

1 - Radioactive isotope

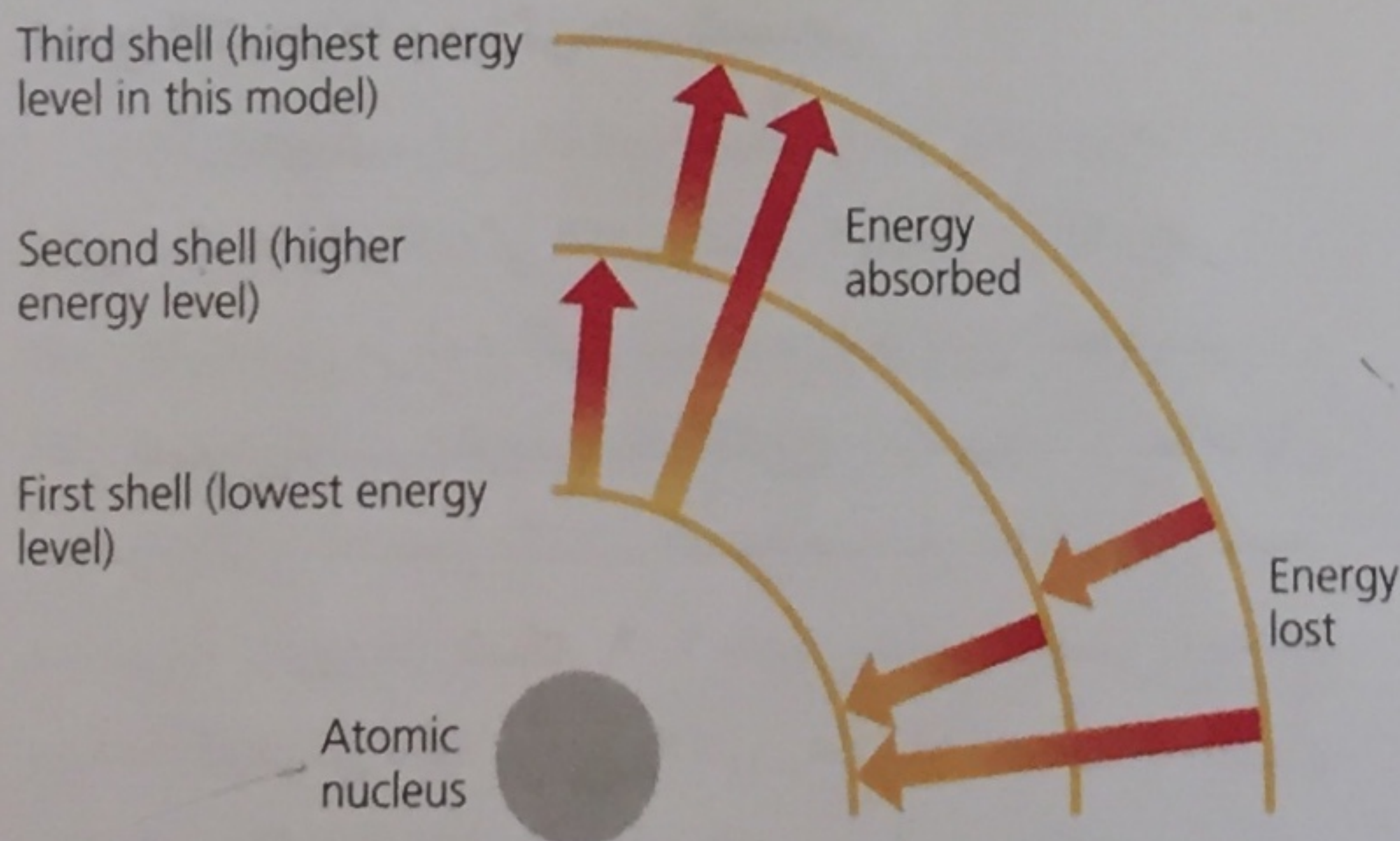
الکترون‌های یک اتم به‌خاطر مقدار **انرژی** که دارند گوناگون‌اند. **انرژی**[1] عبارت است از توانایی ایجاد تغییر و یا به بیانی دیگر توانایی انجام کار. **انرژی پتانسیل**[2] عبارتست از انرژی که ماده به‌خاطر ساختمان یا موقعیتش از آن برخوردار است. برای مثال، آب درون مخزنی که روی یک تپه قرار دارد به‌خاطر ارتفاعش از سطح زمین دارای انرژی پتانسیل است. هنگامی که دریچه‌های مخزن باز می‌شود و آب حرکت به‌سوی پایین تپه را آغاز می‌کند، از انرژی آن می‌توان برای انجام کارهایی مانند چرخاندن ژنراتورها استفاده کرد، زیرا انرژی در حال استفاده شدن است و آب انرژی خود را در پایین تپه نسبت به هنگامی که در مخزن بوده از دست می‌دهد. به‌طور طبیعی ماده گرایش به قرار گرفتن در پایین‌ترین سطح انرژی پتانسیل را دارد، مانند این مثال که آب به پایین تپه حرکت می‌کند. برای اندوختن دوبارهٔ انرژی پتانسیلِ یک مخزن و بالا بردن آب برخلاف جاذبهٔ زمین، باید کار انجام شود.

الکترون‌ها نیز دارای انرژی پتانسیل هستند و به‌همین دلیل با نظم ویژه‌ای گرداگرد هسته چیده شده‌اند. الکترون‌ها با بار الکتریکیِ منفی توسط بار الکتریکی مثبت هسته جذب می‌شوند. به‌همین دلیل برای دورتر کردن یک الکترون از هسته باید کار انجام شود، پس الکترون‌هایی که از هسته دورترند از انرژی پتانسیل بیشتری برخوردارند. برخلاف جریان پیوستهٔ آبی که از تپه پایین می‌آید، تغییر در انرژی پتانسیل الکترون‌ها تنها در سطوحی که مقدار انرژی ثابتی دارند رخ می‌دهد. یک الکترون، انرژی معینی را می‌تواند از دست بدهد، درست مانند توپی که روی یک پلکان قرار گرفته است (**شکل ۸a - ۲**). یک توپ، بسته به‌اینکه در چه پله‌ای قرار گرفته باشد می‌تواند مقادیر گوناگونی از انرژی پتانسیل را دارا باشد و نمی‌تواند مدت زیادی را بین دو پله بگذراند. یک الکترون نیز نمی‌تواند مابین سطوح ثابت انرژی پتانسیل باقی بماند.

لایه‌های گوناگون انرژی پتانسیل که الکترون‌های یک اتم می‌توانند داشته باشند را **سطوح انرژی**[3] می‌نامند. سطح انرژی یک الکترون به میانگین فاصلهٔ آن از هسته ارتباط دارد. این میانگین فاصله را به‌صورت نمادین و به شکل لایه‌های الکترونی نشان می‌دهند (**شکل ۸b - ۲**). نخستین لایهٔ الکترونی، نزدیک‌ترین آنها به هسته است و الکترون‌های موجود در این لایه کمترین انرژی پتانسیل را دارا هستند. الکترون‌های لایهٔ دوم، انرژی بیشتری نسبت به الکترون‌های لایهٔ اول دارند و الکترون‌های لایهٔ سوم، انرژی بیشتری نسبت به الکترون‌های لایهٔ دوم داشته و لایه‌های بعدی نیز به‌همین ترتیب. الکترون‌ها می‌توانند جایگاه خود در لایه‌های الکترونی را که در آن جای گرفته‌اند، تغییر دهند. اما این امر تنها با گرفتن یا از دست دادن انرژی برابر با اختلاف انرژی دو لایهٔ الکترونی قبلی و جدید ممکن می‌شود. هنگامی که یک الکترون انرژی جذب می‌کند می‌تواند به لایه‌های الکترونی دورتر از هسته برود. برای مثال، انرژی نور می‌تواند یک الکترون را به سطح انرژی بالاتر بفرستد. (این موضوع اولین مرحله برای مهار انرژی در فتوسنتز است که در آن گیاهان انرژی مورد نیاز خود را برای تهیهٔ غذا از دی‌اکسید کربن و آب، از نور خورشید به‌دست می‌آورند.) هنگامی که یک الکترون انرژی از دست می‌دهد به لایه‌های پایین‌تر سقوط می‌کند یا به‌عبارتی به هسته نزدیک‌تر می‌شود. انرژی ازدست داده شده در چنین شرایطی به‌صورت گرما در محیط پیرامون آزاد می‌شود. برای مثال، نور خورشید الکترون‌های رنگ یک خودروی تیره رنگ را به لایه‌های بالاتری از انرژی منتقل می‌کند و هنگامی که این الکترون‌ها به محل اصلی خود بر می‌گردند، دمای سطح خودرو افزایش می‌یابد. این انرژی گرمایی می‌تواند به هوا و یا هنگام تماس با خودرو به‌دست شما منتقل شود.



(**a**) پایین‌آمدن یک توپ از پله‌ها، شباهت زیادی به‌سطوح انرژی الکترون‌ها دارد، زیرا توپ تنها روی هر پله می‌تواند جای بگیرد، نه در فاصلهٔ بین دو پله.



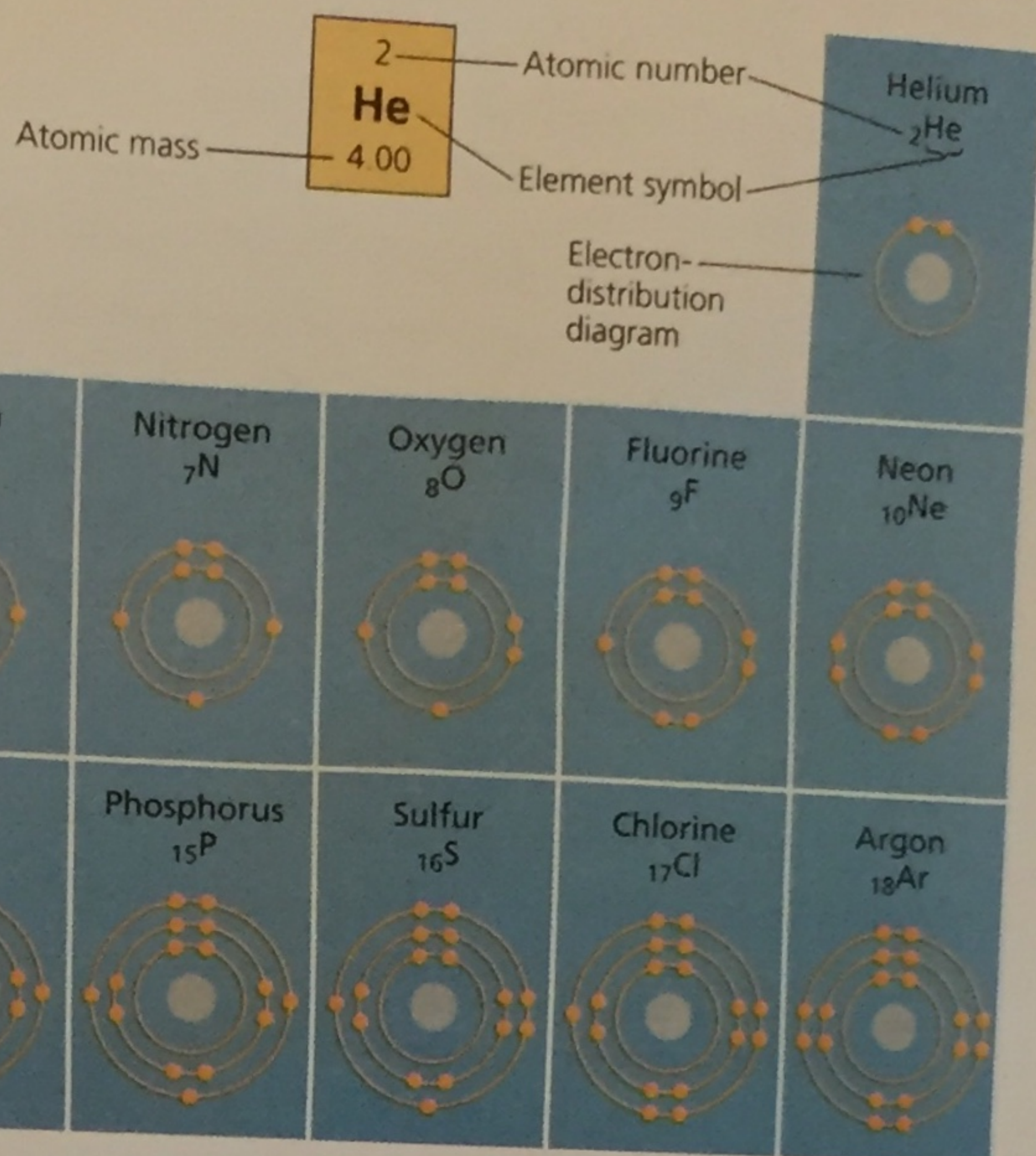

(**b**) یک الکترون می‌تواند با گرفتن یا از دست دادن انرژی، دقیقاً برابر اختلاف سطح انرژی بین لایه‌ها، از یک لایه به لایهٔ دیگر حرکت کند. در تصویر فوق پیکان‌ها نشان‌دهندهٔ برخی از تغییرات ممکن در سطح انرژی پتانسیل هستند.

▲ **شکل ۸ - ۲ سطوح انرژی الکترون‌های یک اتم.** *الکترون‌ها در سطوح معینی از انرژی پتانسیل قرار دارند که لایه‌های الکترونی نامیده می‌شوند.*

---

1 - Energy
2 - Potential energy
3 - Energy levels

Hydrogen $_1H$
First shell




Lithium $_3Li$ | Beryllium $_4Be$ | Boron $_5B$ | Carbon $_6C$ | Nitrogen $_7N$ | Oxygen $_8O$ | Fluorine $_9F$ | Neon $_{10}Ne$
Second shell



Sodium $_{11}Na$ | Magnesium $_{12}Mg$ | Aluminum $_{13}Al$ | Silicon $_{14}Si$ | Phosphorus $_{15}P$ | Sulfur $_{16}S$ | Chlorine $_{17}Cl$ | Argon $_{18}Ar$
Third shell

▲ **شکل ۹-۲ نمودارهای توزیع الکترونی ۱۸ عنصر اولیهٔ جدول تناوبی.** *در یک جدول تناوبی استاندارد، اطلاعات هر عنصر به‌صورت نمادین مانند آنچه که برای عنصر هلیم ارائه شده، نشان داده می‌شود. در نمودارهای این جدول، الکترون‌ها به‌صورت نقطه‌های زرد، و لایه‌های الکترونی به‌صورت حلقه‌های هم‌مرکز نشان داده شده‌اند. از نمودارهای مربوط به لایه‌های الکترونی به‌عنوان یک راه سودمند برای نشان دادن توزیع الکترون‌های اتم در لایه‌های الکترونی استفاده می‌شود. با این‌حال به‌یاد داشته باشید که این‌ها مدل‌های ساده‌شده‌ای هستند. عناصری که در یک ردیف مرتب شده‌اند هریک نشان‌دهندهٔ تکمیل یک لایهٔ الکترونی هستند، به‌گونه‌ای که الکترون‌های افزوده شده، پایین‌ترین لایهٔ قابل دسترسی به لحاظ انرژی را اشغال می‌کنند.*

؟ عدد اتمی منیزیم چند است؟ منیزیم چه تعداد پروتون و الکترون دارد؟ دارای چند لایهٔ الکترونی است؟ چند تا الکترون ظرفیتی دارد؟

## توزیع الکترون‌ها و ویژگی‌های شیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی یک اتم توسط آرایش الکترون‌ها یا به بیانی دیگر نحوهٔ پراکندگی الکترون‌ها در لایه‌های الکترونیِ اتم مورد نظر تعیین می‌شود. اگر از ساده‌ترین اتم، یعنی اتم هیدروژن، آغاز کنیم می‌توانیم با افزودن یک الکترون و یک پروتون ساختمان عناصر دیگر را به‌تصویر بکشیم (البته همزمان با افزودن تعداد مناسبی از نوترون‌ها). **شکل ۹-۲** جدول *تناوبی عناصر*[1] را نشان می‌دهد که در آن نحوهٔ پراکنش الکترون‌های ۱۸ عنصر ابتدایی، از هیدروژن ($_1H$) تا ($_{18}Ar$) نشان داده شده است. عناصر براساس تعداد لایه‌های الکترونی اتم‌هایشان در سه ردیف یا دوره مرتب شده‌اند. در هر دوره از چپ به راست، عناصر به‌ترتیب افزایش الکترون‌ها (و پروتون‌ها) قرار گرفته‌اند.

یک الکترونِ هیدروژن و دو الکترون هلیم در نخستین لایهٔ الکترونی جای گرفته‌اند. الکترون‌ها نیز مانند دیگر مواد گرایش دارند در پایین‌ترین سطح قابل دسترسی به لحاظ انرژی پتانسیل، یعنی آنچه که در نخستین لایهٔ الکترونی موجود است، قرار گیرند. چون نخستین لایهٔ الکترونی توانایی نگهداری بیش از دو الکترون را ندارد، بنابراین تنها دو عنصر هیدروژن و هلیم در نخستین ردیف جدول قرار دارند. یک اتم با تعداد بیش از دو الکترون باید از لایه‌های بالاتر استفاده کند. زیرا اولین لایه کاملاً پر شده است. عنصر بعدی لیتیم است که سه الکترون دارد. دو تا از این الکترون‌ها، لایهٔ اول را پر می‌کنند و سومین الکترون در دومین لایهٔ الکترونی جای می‌گیرد. دومین لایهٔ الکترونی می‌تواند حداکثر ۸ الکترون در خود جای دهد. نئون در پایان ردیف دوم قرار دارد.

ویژگی‌های شیمیایی یک اتم تا اندازهٔ زیادی به تعداد الکترون‌های آخرین لایهٔ الکترونی آن وابسته است. به الکترون‌های آخرین لایهٔ الکترونی، **الکترون‌های ظرفیت**[2] و به آخرین لایهٔ

1 - The periodic table of the elements

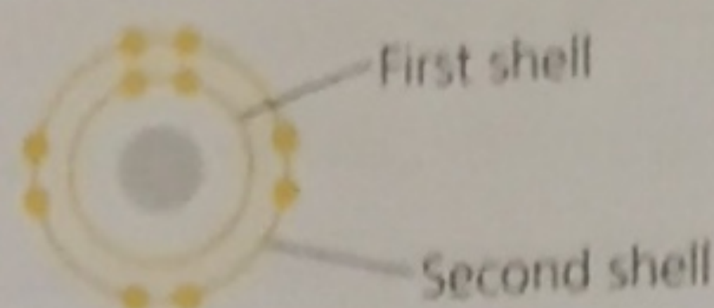
2 - Valence electron

الکترونی، **لایهٔ ظرفیت**[1] می‌گوییم. در خصوص لیتیم، تنها یک الکترون ظرفیت وجود دارد و دومین لایهٔ الکترونی، لایهٔ ظرفیت است. اتم‌هایی که شمار الکترون‌های ظرفیت آنها در لایهٔ ظرفیت‌شان برابر است، ویژگی‌های شیمیایی همانندی دارند. برای نمونه، فلوئور (F) و کلر (Cl) هر دو ۷ الکترون ظرفیت دارند و هر دو با سدیم ترکیب شده و مادهٔ مرکبی را تولید می‌کنند (شکل ۲-۲ را ببینید). اتم‌هایی که لایهٔ ظرفیت آنها کامل است، عناصر غیرفعالی هستند که در برخورد با دیگر اتم‌ها نمی‌توانند با آنها واکنش دهند. در شکل ۹-۲، آخرین ستون سمت راست جدول تناوبی، هلیوم، نئون و آرگون را نشان می‌دهد که لایه‌های ظرفیت‌شان پر است. به این عنصرها، عناصر **بی‌اثر**[2] **یا نجیب** گفته می‌شود، به این معنی که از لحاظ شیمیایی توانایی واکنش با دیگر اتم‌ها را ندارند و یا به عبارتی غیرفعال هستند. دیگر اتم‌هایی که در شکل ۹-۲ نمایش داده شده‌اند توانایی شرکت در واکنش‌های شیمیایی را دارند زیرا لایه‌های ظرفیت‌شان کامل نشده است.

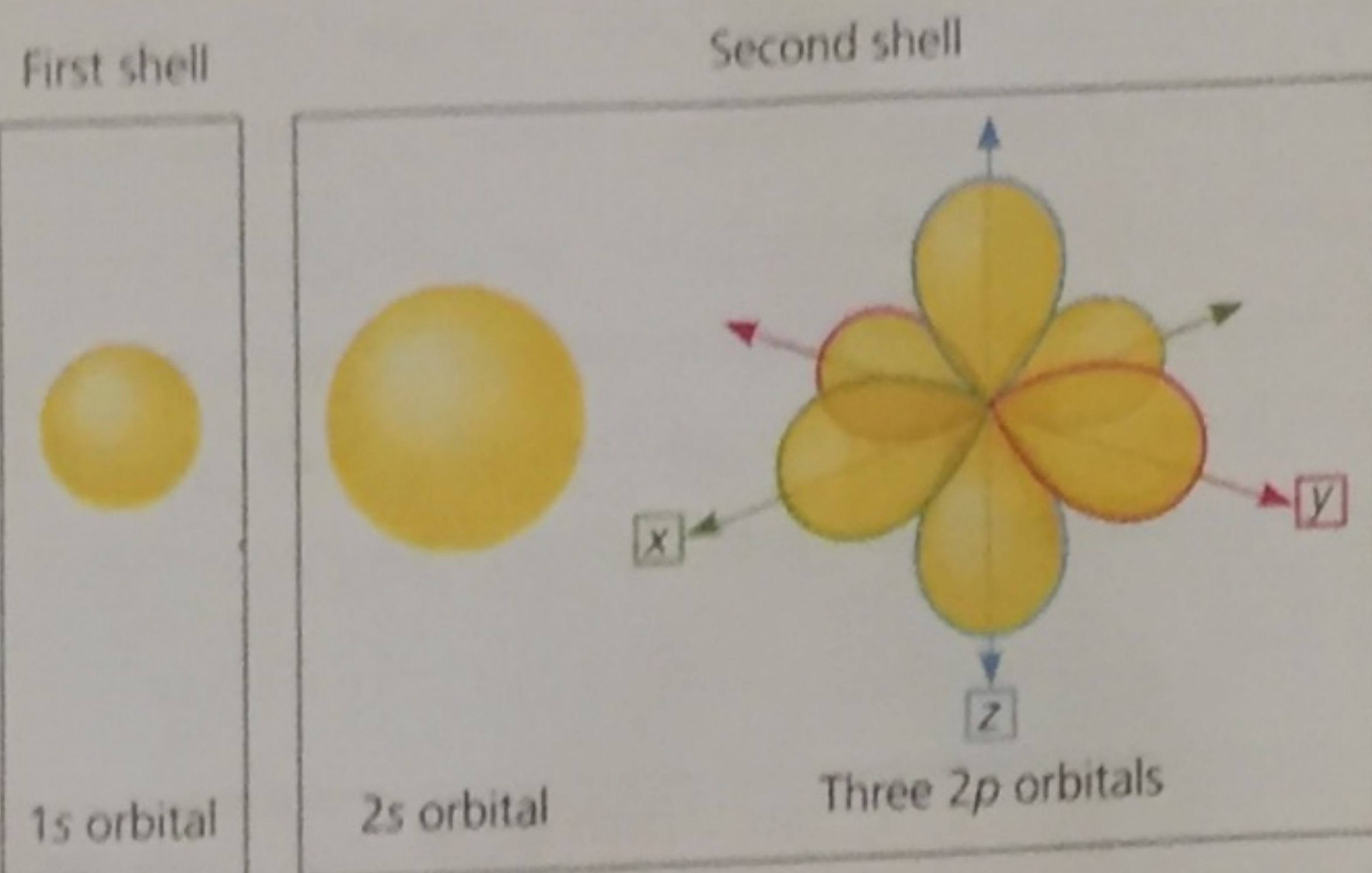
### اُربیتال‌های الکترونی

در آغاز قرن بیستم تصور بر این بود که لایه‌های الکترونی یک اتم به‌صورت دایره‌های متحدالمرکزی هستند که الکترون‌های روی آنها، مانند گردش سیارات به دور خورشید، به دور هسته گردش می‌کنند. این الگو هنوز هم برای نشان دادن نمودار دو بعدی دایره‌های هم‌مرکزِ لایه‌های الکترونی به‌کار می‌رود. همان‌گونه‌که در شکل ۹-۲ دیدید، اگر تصور کنیم که لایه‌های الکترونی میانگین فاصلهٔ یک الکترون از هسته را نشان می‌دهند خواهیم پذیرفت که این تنها یک مدل است و تصویر واقعی از اتم را ارائه نمی‌کند. در واقع ما هرگز نمی‌توانیم مسیر حرکت واقعی یک الکترون را تشخیص دهیم. در عوض می‌توانیم فضایی را توصیف کنیم که یک الکترون بیشتر اوقات در آن قرار دارد. **اُربیتال**[3] عبارت است از فضای سه‌بعدی که یک الکترون ۹۰ درصد اوقات خود را در آن می‌گذراند.

هر لایهٔ الکترونی دارای تعداد مشخصی اُربیتال است که از نظر شکل و جهت با یکدیگر متفاوتند (**شکل ۱۰-۲**). می‌توان یک اُربیتال را به‌عنوان جزئی از یک لایهٔ الکترونی درنظر گرفت (دوباره یادآوری می‌کنیم که یک لایهٔ الکترونی دارای سطح انرژی مشخصی است). نخستین لایهٔ الکترونی دارای یک اُربیتال **کروی** است (1s)، اما لایهٔ دوم دارای چهار اُربیتال است: یک اُربیتال کروی بزرگ (2s) و سه اُربیتال **دمبلی** شکل (2p). هر اُربیتال 2p در یک زاویهٔ




**(a) نمودار توزیع الکترونی.** در اینجا نمودار توزیع الکترونی برای اتم نئون نشان داده شده است، که ۱۰ الکترون دارد. هر حلقهٔ هم‌مرکز معرف یک لایهٔ الکترونی است که به اربیتال‌های الکترونی کوچک‌تر تقسیم می‌شود.




**(b) اربیتال‌های الکترونی جداگانه.** اشکال سه‌بعدی، اربیتال‌های الکترونی را نشان می‌دهند. اربیتال‌ها فضایی هستند که الکترون‌های یک اتم در بیشتر مواقع در آنجا یافت می‌شوند. هر اربیتال حداکثر دو الکترون را در خود جای می‌دهد. اولین لایهٔ الکترونی، در سمت چپ، یک اربیتال کروی (s) دارد که به صورت 1s نشان داده می‌شود. دومین لایه، در سمت راست، دارای یک اربیتال s بزرگ‌تر (که به‌صورت 2s برای لایهٔ دوم نشان داده می‌شود) و سه اربیتال دمبلی شکل به‌نام اربیتال‌های p (2p برای لایهٔ دوم) است. سه اربیتال 2p به‌صورت عمود بر یکدیگر در امتداد محورهای فرضی x، y و z اتم قرار دارند. در اینجا هر کدام از اربیتال‌های 2p با رنگ متفاوتی نشان داده شده است.




**(c) اربیتال‌های الکترونی روی هم قرار گرفته.** برای نشان دادن شکل کامل اربیتال‌های الکترونی نئون، اربیتال 1s لایه اول و اربیتال‌های 2s و 2p لایهٔ دوم را روی هم قرار داده‌ایم.

▲ **شکل ۱۰-۲** **اربیتال‌های الکترونی.**

عمودی نسبت به دو اُربیتال دیگر قرار گرفته است. (لایهٔ سوم و لایه‌های بالاتر نیز به‌همین ترتیب دارای اُربیتال‌های s و p با اشکال پیچیده‌تر هستند.)

بیش از دو الکترون نمی‌توانند در یک اُربیتال قرار گیرند. به‌همین دلیل نخستین لایهٔ الکترونی حداکثر دو الکترون را می‌تواند در اُربیتال s خود جای دهد. فقط الکترون اتم هیدروژن و دو الکترون اتم هلیم در اُربیتال 1s جای دارند. چهار اُربیتال دومین

1 - Valence shell
2 - Inert
3 - Orbital

لایهٔ الکترونی حداکثر ۸ الکترون را می‌توانند در خود جای دهند. الکترون‌های هر اُربیتال تقریباً انرژی یکسانی دارند ولی در حجم متفاوتی از فضا حرکت می‌کنند.

عملکرد اتم‌ها یا توانایی آنها برای شرکت در واکنش‌های شیمیایی، از حضور الکترون‌های جفت‌نشده در یک یا چند اُربیتال موجود در لایه‌های ظرفیت آنها ناشی می‌شود. توجه داشته باشید که در شکل ۸- ۲ نحوهٔ قرار گرفتن الکترون‌ها به این صورت است که هر بار یک الکترون اضافه می‌شود. برای سادگی عمل، یک الکترون به الکترون قبلی در آخرین لایه اضافه می‌شود تا نیمی از لایه پُر شود و سپس الکترون‌ها به‌همین ترتیب جفت می‌شوند تا لایهٔ الکترونی کاملاً پر شود. هنگامی‌که اتم‌ها اقدام به واکنش می‌کنند تا لایه‌های ظرفیت آنها کامل شود، این الکترون‌های جفت‌نشده هستند که درگیر واکنش می‌شوند.

## پرسش‌های مبحث ۲-۲

۱. یک اتم لیتیم دارای ۳ پروتون و ۴ نوترون می‌باشد. جرم اتمی آن چند دالتون است؟

۲. یک اتم نیتروژن دارای ۷ پروتون و اغلب ایزومرهای آن نیز دارای ۷ نوترون هستند. یک ایزوتوپ کمیاب نیتروژن دارای ۸ نوترون است. جرم اتمی و عدد اتمی این ایزوتوپ کمیاب نیتروژن چقدر است؟ فرمول شیمیایی با پشت‌نویس ایزوتوپ مذکور را بنویسید.

۳. فلوئور چند الکترون دارد و دارای چند لایهٔ الکترونی است؟ اُربیتال‌های اشغال‌شده را نام ببرید. فلوئور چند الکترون جفت‌نشده دارد؟

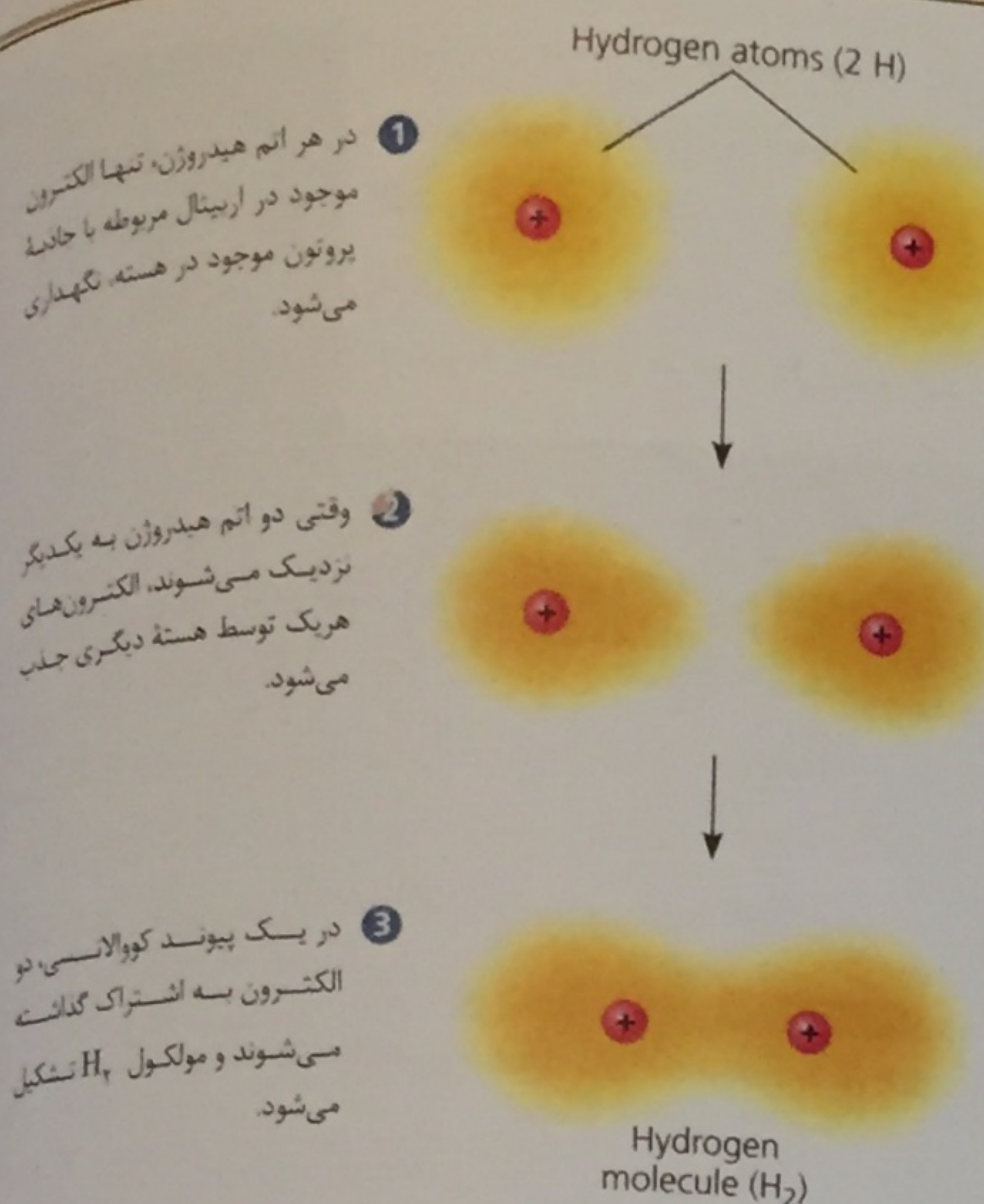
**چه می‌شد اگر؟** در شکل ۹-۲، دو یا تعداد بیشتری عنصر که در یک ردیف قرار دارند، چه شباهت‌هایی دارند؟ دو یا تعداد بیشتری عنصر که در یک ستون قرار دارند، چه شباهت‌هایی دارند؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

## ۲-۳ شکل و عملکرد مولکول‌ها به پیوندهای شیمیایی بین اتم‌های آن بستگی دارد

اکنون پس از نگاهی گذرا به ساختمان اتم‌ها، می‌توان به سطوح بالاتر تشکیلات مواد حرکت کرده و ببینیم چگونه اتم‌ها با هم ترکیب می‌شوند و مولکول‌ها و ترکیبات یونی را می‌سازند. اتم‌هایی که لایهٔ ظرفیت‌شان کامل است می‌توانند با اتم‌های معین دیگری برای کامل کردن لایهٔ ظرفیت یکدیگر، واکنش دهند. اتم‌ها می‌توانند الکترون‌های ظرفیت خود را منتقل کنند. این واکنش‌ها بیشتر درنتیجهٔ قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر به‌وجود می‌آیند و با جاذبه‌ای که **پیوندهای شیمیایی**[1] نامیده می‌شوند، باقی می‌مانند.

1 - Chemichal bonds




▲ شکل ۱۱- ۲ تشکیل یک پیوند کووالانسی.

قوی‌ترین نوع پیوندهای شیمیایی، پیوندهای کووالانسی و یونی هستند.

### پیوندهای کووالانسی

یک **پیوند کووالانسی**[2] عبارت‌است از به اشتراک گذاشتن یک جفت الکترون ظرفیت بین دو اتم. برای مثال، رویدادهایی را که هنگام نزدیک شدن دو اتم هیدروژن به یکدیگر روی می‌دهند در نظر بگیرید. به‌یاد داریم که اتم هیدروژن تنها دارای یک الکترون ظرفیت در لایهٔ ظرفیت خود است، درصورتی‌که گنجایش لایهٔ اول ظرفیت، دو الکترون می‌باشد. هنگامی‌که دو اتم هیدروژن به اندازهٔ کافی به یکدیگر نزدیک می‌شوند، اُربیتال‌های 1s با یکدیگر هم‌پوشانی می‌کنند و الکترون‌های یکدیگر را به اشتراک می‌گذارند (شکل ۱۱- ۲). حالا هر اتم هیدروژن دارای دو الکترون همراه با یک لایهٔ ظرفیت کامل شده است. در شکل 12a- ۲ چندین روش نمایش یک مولکول هیدروژن نشان داده شده است. دو یا چند اتم می‌توانند در کنار یکدیگر با پیوند کووالانسی نگه داشته شوند و یک مولکول بسازند. در این حالت، یک مولکول هیدروژن ساخته شده است می‌توان این مولکول را به‌اختصار به‌صورت H−H نشان داد، خط بین دو اتم بیانگر یک پیوند کووالانسی یگانه با یک جفت الکترونی است که به اشتراک گذاشته شده است. به این نکته توجه داشته

2-Covalent bonds

باشید که نمایش هم‌زمان اتم‌ها و پیوندهای شیمیایی را **فرمول ساختاری**[1] می‌نامند. از طرف دیگر می‌توان مولکول بالا را به اختصار به‌صورت $H_2$ یا **فرمول مولکولی**[2] نمایش داد که به‌سادگی بیان‌کنندهٔ این است که مولکول هیدروژن از دو اتم هیدروژن تشکیل شده است. اکسیژن با دارا بودن ۶ الکترون در دومین لایهٔ الکترونی، به دو الکترون برای تکمیل لایهٔ ظرفیت خود نیاز دارد.

دو اتم اکسیژن با به اشتراک گذاشتن دو جفت الکترون لایهٔ ظرفیت‌شان، مولکول اکسیژن را می‌سازند (**شکل ۱۲b - ۲**). بنابراین اتم‌ها با پیوندی که پیوند کووالانسی دوگانه یا به اختصار **پیوند دوگانه**[3] خوانده می‌شود به یکدیگر متصل می‌شوند. تعداد الکترون‌هایی که هر اتم می‌تواند به اشتراک بگذارد، تعیین‌کنندهٔ تعداد پیوندهای کووالانسی است که آن اتم می‌تواند تشکیل دهد. هنگامی‌که پیوندها تشکیل شدند، الکترون‌های لازم برای پرکردن لایه‌های ظرفیت در اختیار اتم‌ها قرار داده می‌شود. برای مثال، ظرفیت پیوندی اکسیژن ۲ است. این ظرفیت پیوندی، **ظرفیت**[4] اتم نامیده می‌شود که معمولاً برابر با تعداد الکترون‌های جفت‌نشدهٔ آخرین لایهٔ الکترونی (لایهٔ ظرفیت) اتم است. می‌توان با بررسی آرایش الکترونی هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و کربن ظرفیت آنها را تعیین کرد. با شمارش تعداد الکترون‌های جفت‌نشده می‌توان دریافت که ظرفیت هیدروژن ۱، اکسیژن ۲، نیتروژن ۳ و کربن ۴ است. فسفر به‌عنوان یکی دیگر از مولکول‌های مهم زیستی، موردی پیچیده‌تر است. از آنجایی‌که فسفر دارای ۳ الکترون جفت‌نشده است، سه ظرفیت را برای فسفر می‌توان درنظر گرفت.

فسفر در برخی مولکول‌های زیستی بسیار مهم به‌صورت پنج‌ظرفیتی دیده می‌شود و سه پیوند یگانه و یک پیوند دوگانه را با دیگر اتم‌ها تشکیل می‌دهد.

مولکول‌های $H_2$ و $O_2$، عناصر خالصند (توجه داشته باشید که مواد مرکب از ترکیب دو یا چند عنصر متفاوت به‌وجود می‌آیند). آب نمونه‌ای از یک مادهٔ مرکب با فرمول مولکولی $H_2O$ است. در این مولکول دو اتم هیدروژن، ظرفیت یک اتم اکسیژن را کامل کرده‌اند. ساختمان مولکول آب در **شکل ۱۲c - ۲** نشان داده شده است. آب برای زندگی اهمیت فراوانی دارد، به‌گونه‌ای که فصل سوم این کتاب به‌طور کامل به ساختمان و عملکرد آب پرداخته است.

متان که با فرمول مولکولی $CH_4$، ترکیب اصلی تشکیل دهندهٔ گاز طبیعی است، نیز یک نوع مادهٔ مرکب است (**شکل ۱۲d - ۲**). در این مولکول، چهار اتم هیدروژن یک ظرفیتی، ظرفیت یک اتم کربن چهار ظرفیتی را کامل کرده‌اند. نیروی جاذبهٔ ویژه‌ای که در اتم‌های شرکت‌کننده در پیوند کووالانسی بر الکترون‌ها وارد می‌شود، الکترونگاتیویته[5] نامیده می‌شود. اتم‌های با **الکترونگاتیویتهٔ** بالاتر با توان بیشتری الکترون‌های به اشتراک گذاشته‌شده را به‌سوی خود می‌کشند. در یک پیوند کووالانسی که بین دو اتم از یک عنصر همانند تشکیل می‌شود نیرویی که بر الکترون‌های به اشتراک گذاشته شده وارد می‌شود برابر است؛ به عبارت دیگر هر دو اتم الکترونگاتیویتهٔ یکسانی دارند. چنین پیوندی را که در آن الکترون‌ها به‌طور یکسان به اشتراک گذاشته می‌شوند،

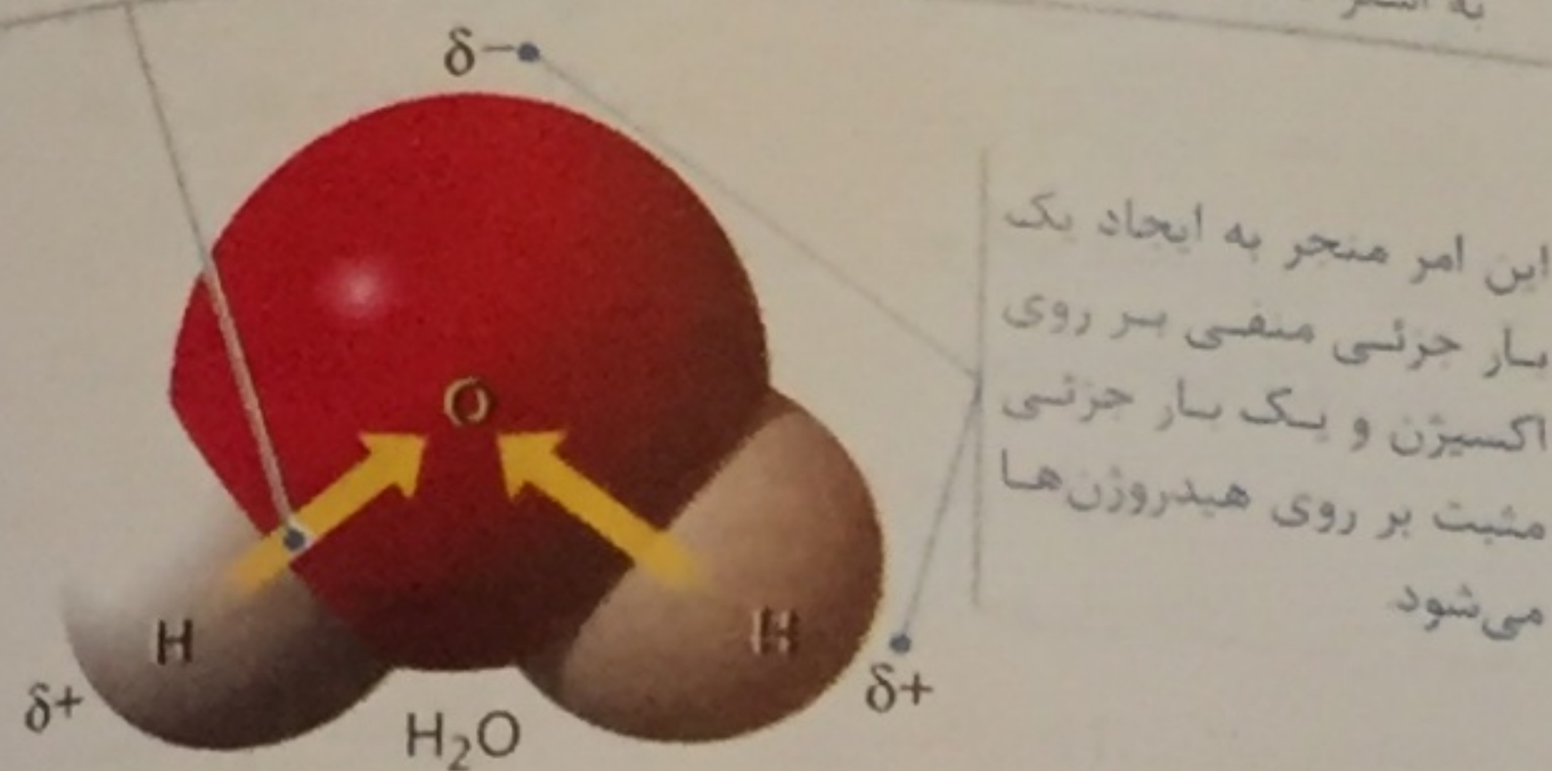
| مدل فضا پرکن | ساختار نقطه‌ای لوئیس و فرمول ساختاری | نمودار توزیع الکترونی | نام و فرمول مولکولی |
|---|---|---|---|
| | H:H<br>H—H | | (a) هیدروژن ($H_2$). دو اتم هیدروژن می‌توانند یک پیوند یگانه را تشکیل دهند. |
| | Ö::Ö<br>O=O | | (b) اکسیژن ($O_2$). دو اتم اکسیژن دو جفت الکترون را برای تشکیل یک پیوند دوگانه به اشتراک می‌گذارند. |
| | :Ö:H<br>H<br>O—H<br>│<br>H | | (c) آب ($H_2O$). دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن با دو پیوند کووالانسی مولکول آب را تشکیل داده‌اند. |
| | H<br>H:C:H<br>H<br>H<br>│<br>H—C—H<br>│<br>H | | (d) متان ($CH_4$). چهار اتم هیدروژن برای پر کردن چهار ظرفیت اتم کربن برای تشکیل گاز متان کافی هستند. |

▲ **شکل ۱۲ - ۲ پیوند کووالانسی در چهار مولکول.** *معمولاً تعداد الکترون‌های مورد نیاز برای پرکردن لایهٔ ظرفیت یک اتم، تعیین‌کنندهٔ تعداد پیوندهایی است که یک اتم می‌تواند تشکیل دهد.*

1 - Structural formula
2 - Molecular formula
3 - Double bond
4 - Valence
5 - Electronegativity

**پیوند کووالانسی غیرقطبی**[1] می‌نامند. برای مثال، پیوند کووالانسی $H_2$ و پیوند کووالانسی دوگانهٔ $O_2$ غیرقطبی هستند.

در انواع دیگر ترکیبات، یعنی ترکیباتی که میان یک اتم با الکترونگاتیویتهٔ خاص و اتم دیگر با الکترونگاتیویتهٔ بیشتر پیوند برقرار می‌شود، الکترون‌های پیوندی به‌طور یکسان بین دو اتم، به اشتراک گذاشته نمی‌شوند. این دسته از پیوندها، **پیوندهای کووالانسی قطبی**[2] نامیده می‌شوند. میزان قطبی بودن این پیوندها بسیار متفاوت بوده و بستگی به الکترونگاتیویتهٔ دو اتم سازندهٔ پیوند دارد. برای مثال، پیوند میان هیدروژن و کربن در مولکول متان کمی قطبی است، زیرا الکترونگاتیویتهٔ کربن و هیدروژن در این مولکول تفاوت اندکی با هم دارند. در یک نمونهٔ دیگر، می‌توان به پیوندهای میان اکسیژن و هیدروژن در مولکول آب اشاره کرد که کاملاً قطبی هستند (**شکل ۱۳-۲**). اکسیژن، بیشترین الکترونگاتیویته را در میان ۹۲ عنصر دارد، و الکترون‌های به اشتراک گذاشته شده را با توان بسیار بیشتری نسبت به اتم هیدروژن جذب می‌کند. در یک پیوند کووالانسی بین هیدروژن و اکسیژن، الکترون‌ها مدت زمان بیشتری در پیرامون اتم اکسیژن نسبت به اتم هیدروژن حضور دارند. چون الکترون‌ها بار منفی دارند و به اشتراک گذاشته شدن الکترون‌ها در مولکول آب به‌صورت نابرابر صورت گرفته است، اتم اکسیژن مقدار جزئی بار منفی پیدا می‌کند. این میزان با حرف یونانی δ (دلتا) همراه با یک علامت منفی ($\delta^-$) نمایش داده می‌شود. هرکدام از دو اتم هیدروژن دارای اندکی بار مثبت می‌شوند (که به‌صورت $\delta^+$ یا دلتا مثبت نمایش داده می‌شود).

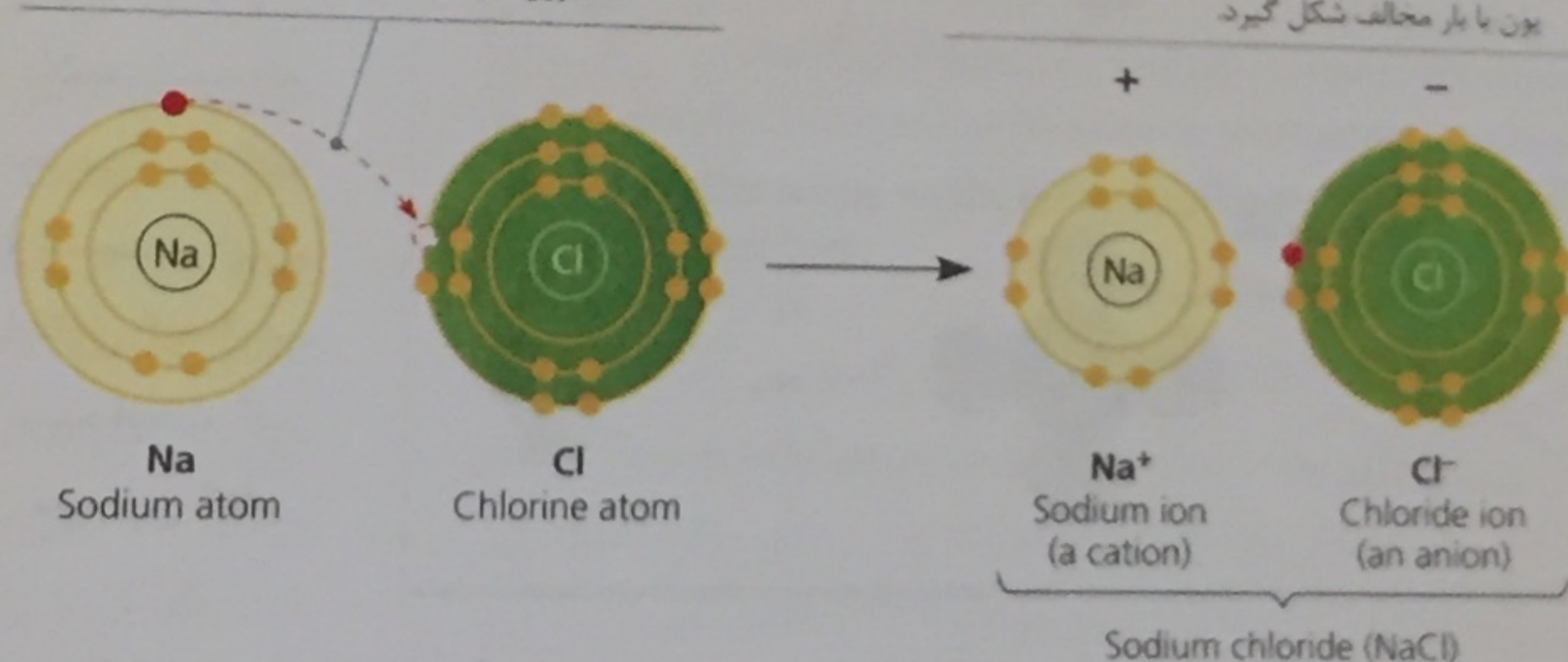



▲ **شکل ۱۳-۲ پیوند کووالانسی قطبی در مولکول آب.**

## پیوندهای یونی

در برخی موارد، جاذبهٔ وارد شده از سوی اتم‌ها به الکترون‌های ظرفیت آنقدر نابرابر است که اتمِ با الکترونگاتیویتهٔ بالا، الکترون را به‌طور کامل از اتم دیگر جدا می‌کند. چنین حالتی دقیقاً هنگامی که یک اتم سدیم در کنار اتم کلر قرار می‌گیرد رخ می‌دهد (**شکل ۱۴-۲**). یک اتم سدیم به‌طورکلی ۱۱ الکترون دارد و تنها الکترون ظرفیت آن در سومین لایهٔ الکترونی‌اش قرار گرفته است. یک اتم کلر که در مجموع ۱۷ الکترون دارد در لایهٔ ظرفیت خود دارای ۷ الکترون می‌باشد. هنگامی که دو اتم کلر و سدیم در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، تنها الکترون ظرفیت سدیم، به لایهٔ ظرفیت اتم کلر منتقل می‌شود و هر دو اتم، لایهٔ ظرفیت یکدیگر را کامل می‌کنند. (با از دست رفتن تنها الکترون لایهٔ سوم، لایهٔ دوم اتم سدیم به‌عنوان لایهٔ ظرفیت به‌شمار می‌آید.)

الکترون انتقال‌یافته باعث حرکت یک واحد بار منفی از اتم سدیم به اتم کلر می‌شود. بدین ترتیب سدیم ۱۱ پروتون و تنها ۱۰ الکترون دارد و به‌همین دلیل یک‌بار مثبت پیدا می‌کند. یک اتم یا یک مولکول باردار **یون**[3] نامیده می‌شود. اگر بار آن مثبت باشد به آن **کاتیون**[4] می‌گویند. اتم سدیم به کاتیون تبدیل شده است. برعکس، اتم کلر یک الکترون اضافی دارد یعنی ۱۷ پروتون و ۱۸ الکترون، که باعث ایجاد بار منفی در کلر می‌شود؛ و یا به عبارت دیگر تبدیل به یک **آنیون**[5] (یک یون با بار منفی) می‌شود.



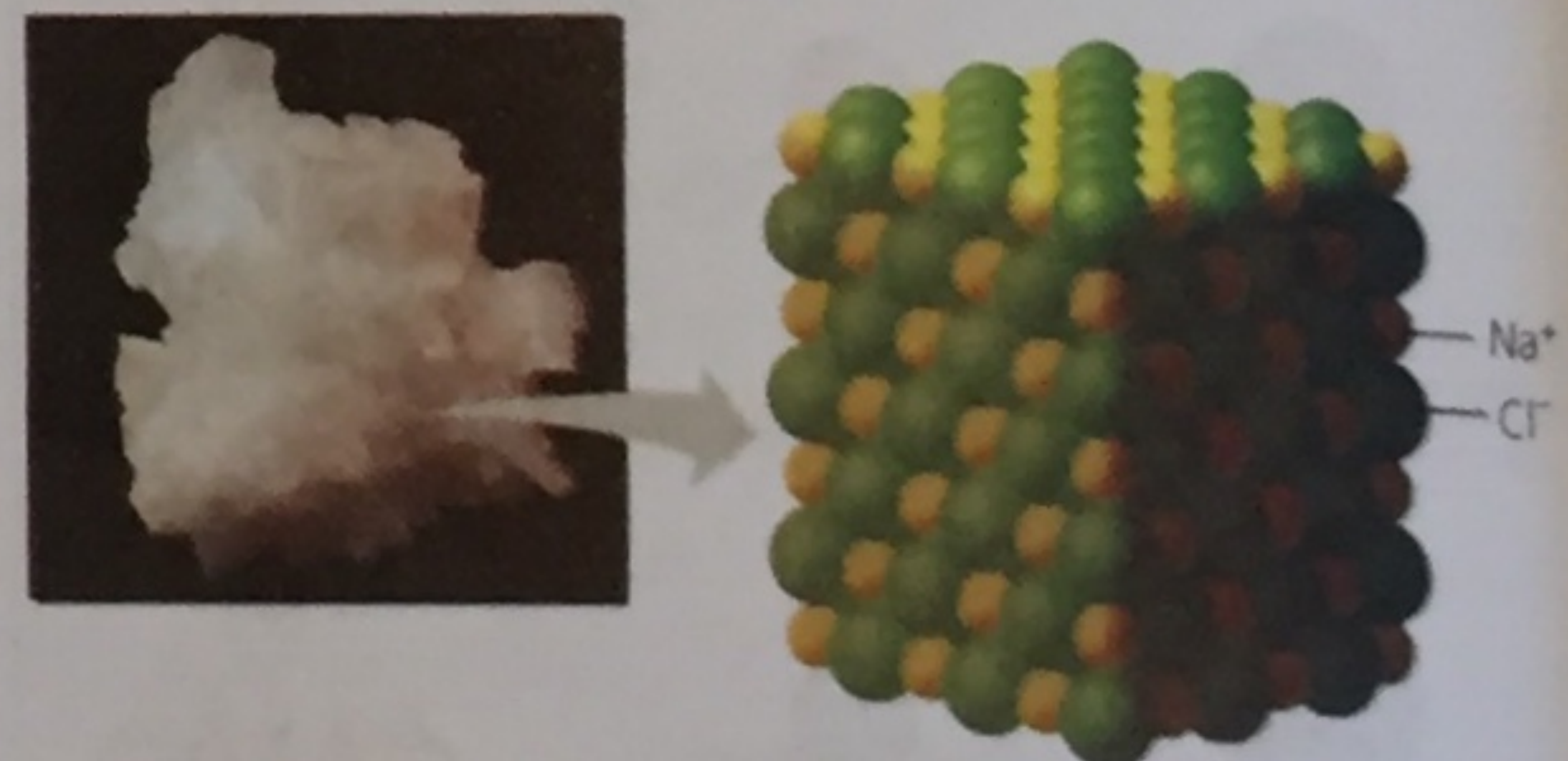

▲ **شکل ۱۴-۲ انتقال الکترون و پیوند یونی.** جاذبهٔ بین اتم‌ها یا یون‌هایی با بارهای ناهمنام، نوعی پیوند یونی است. یک پیوند یونی می‌تواند بین انواع یون‌های با بار مخالف ایجاد شود، حتی اگر آنها به‌علت انتقال یک الکترون از یکی به دیگری تشکیل نشده باشند.

1 - Nonpolar covalent bond
2 - Polar covalent bond
3 - Ion
4 - Cation
5 - Anion

چون بارهای مثبت و منفی یکدیگر را جذب می‌کنند آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیز یکدیگر را جذب می‌نمایند، این جاذبه **پیوند یونی**[1] نامیده می‌شود. انتقال الکترون موجب شکل‌گیری پیوند نمی‌شود بلکه اجازه می‌دهد تا یک پیوند میان دو یون برقرار شود.

پیوند یونی می‌تواند بین دو یون با بار مخالف ایجاد شود. این یون‌ها برای باردار شدن حتماً نیازی به انتقال الکترون به‌یکدیگر ندارند. ترکیباتی که با پیوندهای یونی شکل می‌گیرند، **ترکیبات یونی**[2] یا **نمک‌ها**[3] نامیده می‌شوند. سدیم کلرید یا نمک خوراکی را به‌عنوان یک ترکیب یونی می‌شناسیم (**شکل ۱۵ - ۲**). نمک‌ها بیشتر در طبیعت به‌صورت بلورهایی با اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون یافت می‌شوند که از به‌هم پیوستن تعداد زیادی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها و تحت تأثیر جاذبهٔ الکتریکی، به‌صورت شبکه‌های سه‌بعدی منظمی در کنار هم تشکیل شده‌اند. یک بلور نمک از تعداد معینی مولکول، همانند آنچه که در مورد پیوند کووالانسی مشاهده می‌شود، ساخته نشده است، زیرا یک مولکول که درنتیجهٔ پیوند کووالانسی به‌وجود آمده دارای تعداد معینی از اتم‌های مشخص است. فرمولی مانند NaCl که برای یک ترکیب یونی به‌کار می‌رود تنها نشان‌دهندهٔ نسبت عناصری است که در ساختمان بلور به‌کار رفته، بنابراین NaCl یک مولکول نیست.

تعداد کاتیون‌ها و آنیون‌ها حتماً در همهٔ نمک‌ها برابر نیستند. برای مثال، ترکیب یونی کلرید منیزیم ($MgCl_2$)، دارای دو یون کلرید و یک یون منیزیم است. منیزیم ($_{12}Mg$) باید دو الکترون لایهٔ آخر خود را از دست بدهد تا یک لایهٔ کامل ظرفیت داشته باشد. بنابراین تمایل دارد تا به یک کاتیون با دو بار مثبت $Mg^{2+}$ تبدیل شود. به‌همین دلیل یک کاتیون منیزیم توانایی تشکیل دو




▲ **شکل ۱۵ - ۲ یک بلور سدیم کلرید.** یون‌های سدیم و کلر به کمک پیوندهای یونی در کنار هم نگه داشته شده‌اند. فرمول *NaCl* نشان‌دهندهٔ این است که نسبت یون‌های $Na^+$ و $Cl^-$ یک‌به‌یک است.

1 - Ionic bond
2 - Ionic compounds
3 - Salts

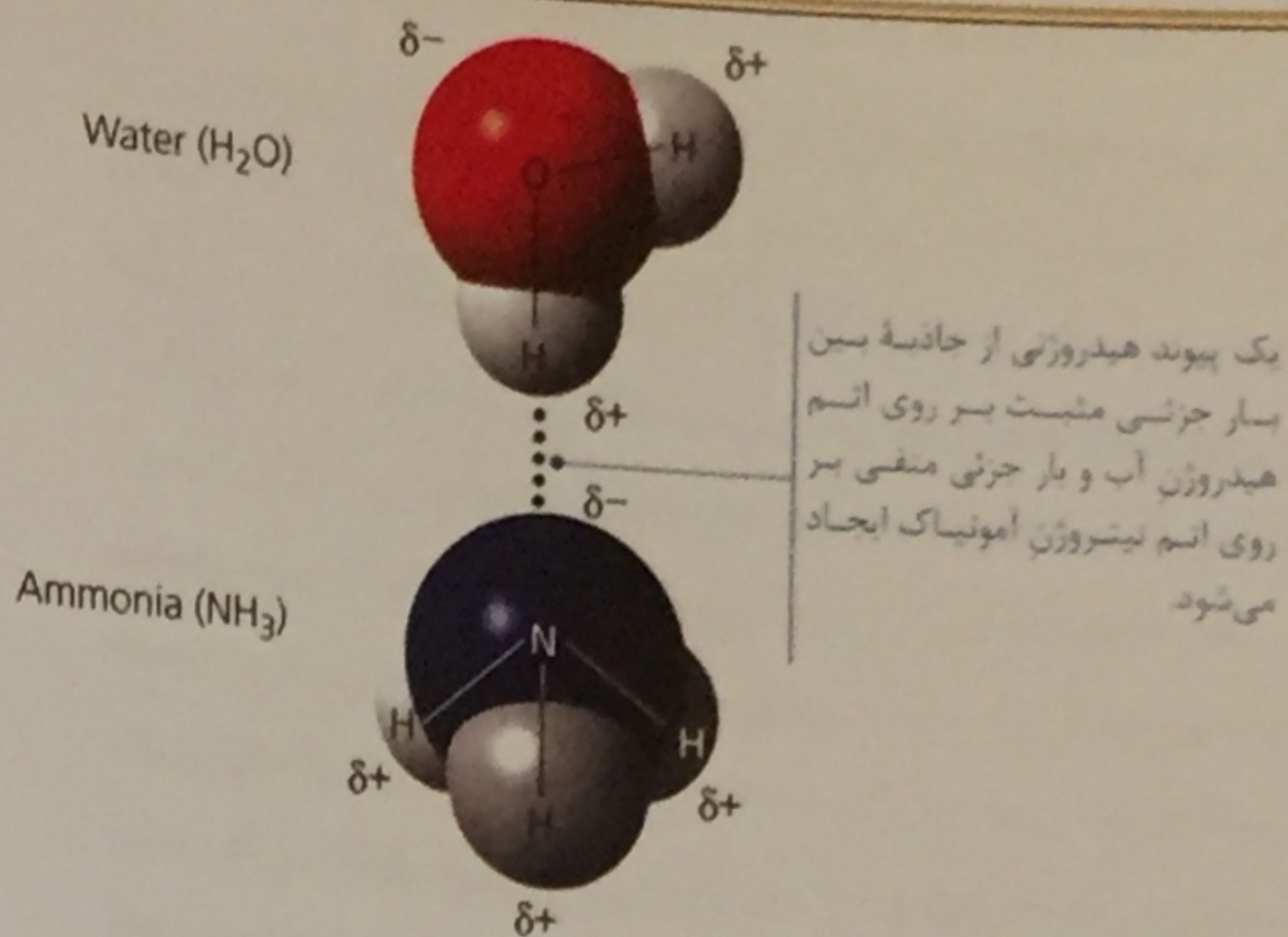
پیوند یونی را با دو یون کلر دارد. واژهٔ یون همچنین برای مولکول‌های کاملی که بار الکتریکی دارند نیز به‌کار می‌رود. برای مثال، در نمک کلرید آمونیوم ($NH_4Cl$)، آنیون $Cl^-$ و کاتیون $NH_4^+$ است که در آن یک اتم نیتروژن با چهار اتم هیدروژن با پیوند کووالانسی به‌هم پیوند شده‌اند. یون آمونیوم به‌طورکلی دارای یک بار مثبت است زیرا یک الکترون کمتر دارد. اندازهٔ پیوند یونی به محیط پیرامون بستگی دارد. در یک بلور نمک خشک پیوندهای یونی آن‌چنان قوی هستند که برای دو نیم کردن بلور، نیاز به قلم و چکش داریم. قرار دادن بلور نمک در آب و حل شدن آن باعث کاهش جاذبه بین یون‌ها می‌شود. در فصل بعدی خواهید آموخت که چگونه نمک‌ها در آب حل می‌شوند.

## پیوندهای شیمیایی ضعیف

در جانداران، بیشتر پیوندهای شیمیایی قدرتمند، پیوندهای کووالانسی هستند که با اتصال اتم‌ها به یکدیگر مولکول‌های درون سلول‌ها را می‌سازند. اما از نقش پیوندهای ضعیف‌تر که بین مولکول‌های مختلف یا درون یک مولکول به‌وجود می‌آید نمی‌توان چشم‌پوشی کرد، زیرا بسیاری از ویژگی‌های زیستی مولکول‌ها تا اندازهٔ زیادی از چنین فعل و انفعالاتی ناشی می‌شود. عملکرد مهم‌ترین مولکول‌های بزرگ زیستی به همین پیوندهای ضعیف بستگی دارد. همچنین هنگامی‌که دو مولکول در درون سلول به‌هم می‌پیوندند ممکن است موقتاً با پیوندهای ضعیف به‌هم متصل شوند. بازگشت‌پذیر بودن پیوندهای ضعیف بسیار سودمند است، به‌گونه‌ای که در اثر این پیوندها دو مولکول به‌هم نزدیک‌شده و به شیوه‌های گوناگونی با هم واکنش می‌دهند و سپس از هم جدا می‌شوند. چند نوع از پیوندهای شیمیایی ضعیف، در موجودات زنده مهم هستند. یکی از آنها پیوندهای یونی است که پیشتر توضیح داده شد و دیگری که اهمیت فراوانی برای جانداران دارد، پیوند هیدروژنی نامیده می‌شود.

## پیوندهای هیدروژنی

در میان انواع گوناگون پیوندهای شیمیایی ضعیف، پیوندهای هیدروژنی از اهمیت فراوانی در بیوشیمی برخوردار هستند، به‌گونه‌ای که آن را شایستهٔ توجه ویژه‌ای نموده است. هنگامی‌که یک اتم هیدروژن با یک اتم با الکترونگاتیویتهٔ زیاد پیوند کووالانسی برقرار کرده باشد و به یک اتم با الکترونگاتیویتهٔ زیاد دیگر جذب شود، پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود. در سلول‌های زنده معمولاً اتم‌های نیتروژن و اکسیژن اجزای الکترونگاتیو دهندهٔ پیوند هیدروژنی هستند. برای تجسم یک پیوند سادهٔ هیدروژنی بین دو




▲ **شکل ۱۶-۲ یک پیوند هیدروژنی.**

**رسم کنید** *با استفاده از فرمول ساختاری، پنج مولکول آب را رسم کنید و بارهای جزئی را نشان دهید، و نشان دهید که آنها چگونه می‌توانند با یکدیگر پیوند هیدروژنی تشکیل دهند.*

مولکول آب و آمونیاک ($NH_3$) به **شکل ۱۶-۲** مراجعه کنید. در فصل آینده خواهیم دید که چگونه پیوندهای هیدروژنی میان مولکول‌های آب، به برخی حشرات اجازهٔ حرکت بر روی آب را می‌دهد.

### میانکنش‌های واندروالسی

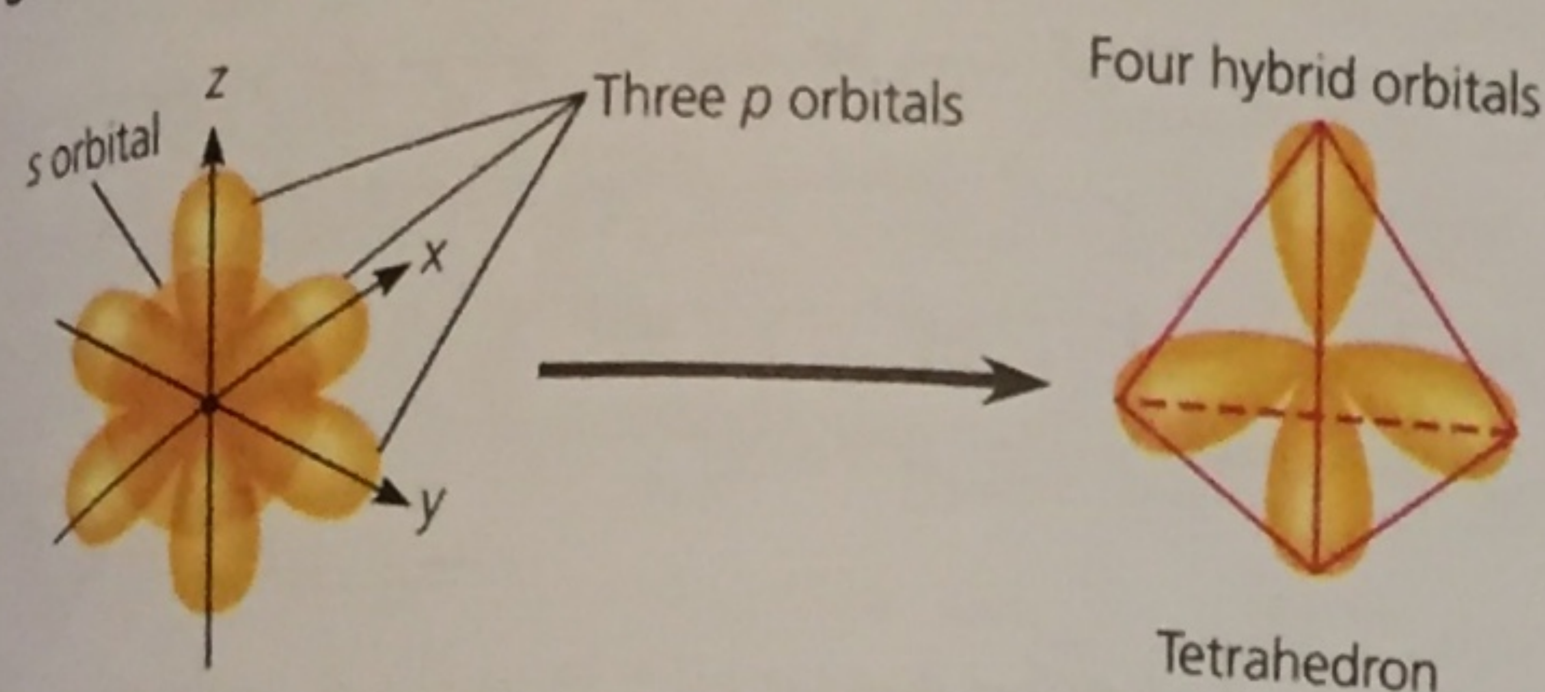
بخش‌های دارای بار الکتریکی مثبت و منفی ممکن است حتی در مولکول‌هایی که از پیوندهای کووالانسی غیرقطبی تشکیل شده‌اند نیز وجود داشته باشند. زیرا الکترون‌ها پیوسته در حرکت هستند و همیشه به‌طور متقارن در همهٔ سطح مولکول پراکنده نشده‌اند و ممکن است در یک لحظه همگی آنها در یک بخش از مولکول و در لحظهٔ دیگر در جای دیگر جمع شوند. نتیجهٔ این تغییرات ناگهانی به‌وجود آمدن نقاط بحرانی بارهای مثبت و منفی است که همهٔ اتم‌ها و مولکول‌ها را قادر به چسبیدن به یکدیگر می‌کند. **میانکنش‌های واندروالسی** بسیار ضعیفند و تنها هنگامی به‌وجود می‌آیند که اتم‌ها و مولکول‌ها بسیار به‌هم نزدیک شده باشند. نیروهای واندروالسی، که شرح داده شد، موجب بالا رفتن مارمولک از دیوار می‌شوند. هریک از پاهای مارمولک صدها هزار پرز باریک دارد که هر کدام چندین برآمدگی در نوک خود دارند. همه‌ی این‌ها سطح تماس مارمولک با دیوار را افزایش می‌دهند. ظاهراً پیوندهای واندروالسی که بین نوک پرزهای پای مارمولک و سطح دیوار به‌وجود می‌آیند، زمینهٔ ایجاد پیوندهای ضعیف را به‌وجود می‌آورد که توانایی نگهداری وزن مارمولک را دارد.



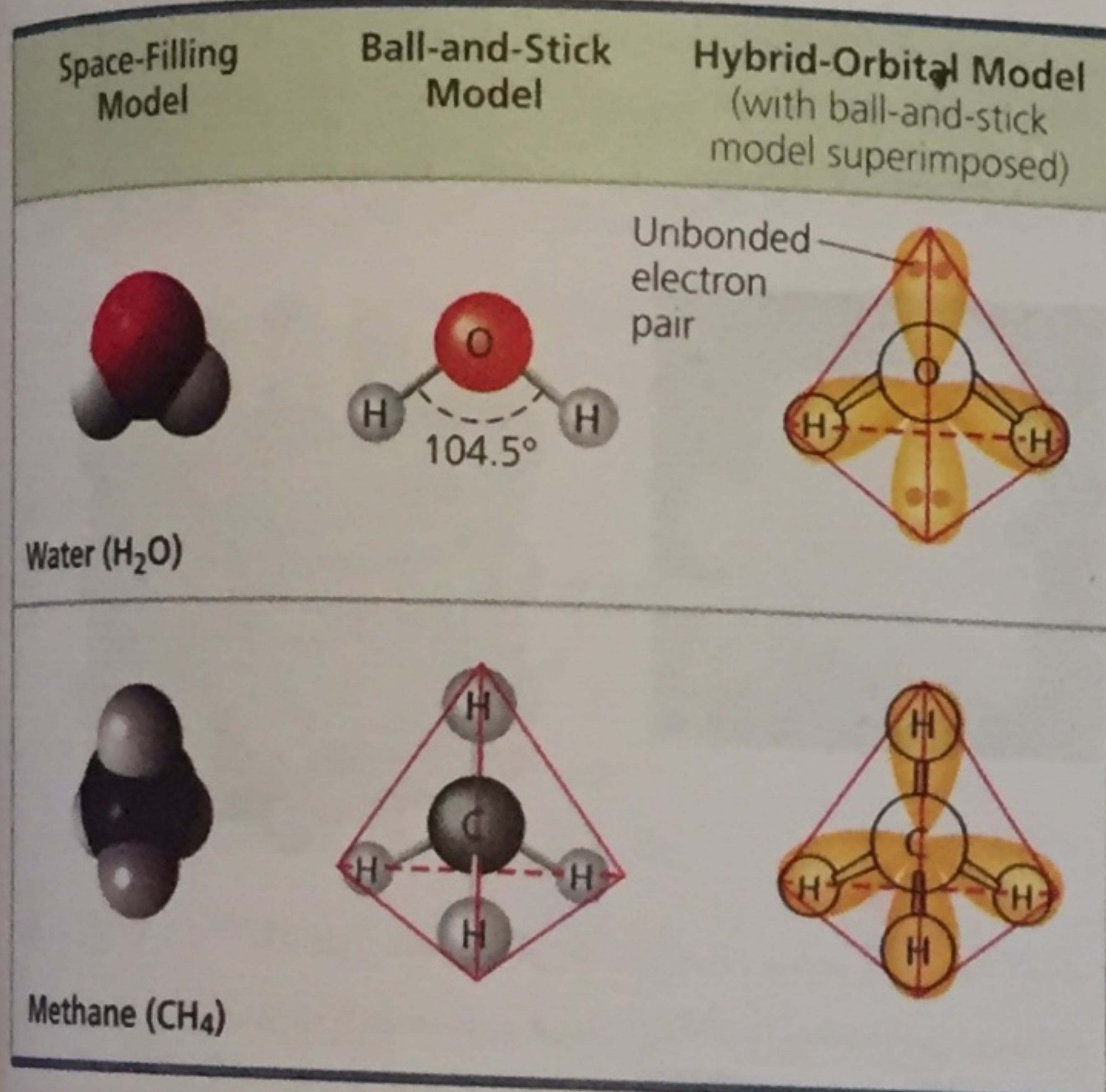
پیوندهای واندروالسی، هیدروژنی، یونی و دیگر پیوندهای ضعیف نه‌تنها امکان برقراری ارتباط بین دو مولکول را به‌وجود می‌آورند، بلکه ممکن است بین دو بخش از یک مولکول بزرگ مانند پروتئین‌ها نیز پیوند ایجاد کنند. اگرچه این پیوندها ضعیف هستند اما تجمع آنها به ساختار سه‌بعدی یک مولکول بزرگ استحکام می‌بخشد. در فصل ۵ مطالب بیشتری دربارهٔ نقش مهم زیستی پیوندهای ضعیف خواهید آموخت.

### شکل و عملکرد مولکولی

یک مولکول، شکل و اندازهٔ مشخصی دارد. شکل دقیق یک مولکول برای عملکرد آن در سلول از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. مولکول‌هایی نظیر $H_2$ و $O_2$ که از دو اتم تشکیل شده‌اند معمولاً خطی هستند اما مولکول‌هایی با بیش از دو اتم، اشکال پیچیده‌تری دارند. این اشکال با موقعیت اُربیتال‌های اتمی تعیین




**(a) هیبرید شدن اربیتال‌ها.** یک اربیتال s و سه اربیتال p لایهٔ ظرفیت، دخیل در پیوند کووالانسی، با یکدیگر ترکیب شده و چهار اربیتال هیبرید اشکی‌شکل را به‌وجود می‌آورند. این اربیتال‌ها به چهار گوشهٔ یک چهاروجهی فرضی گسترش پیدا می‌کنند.



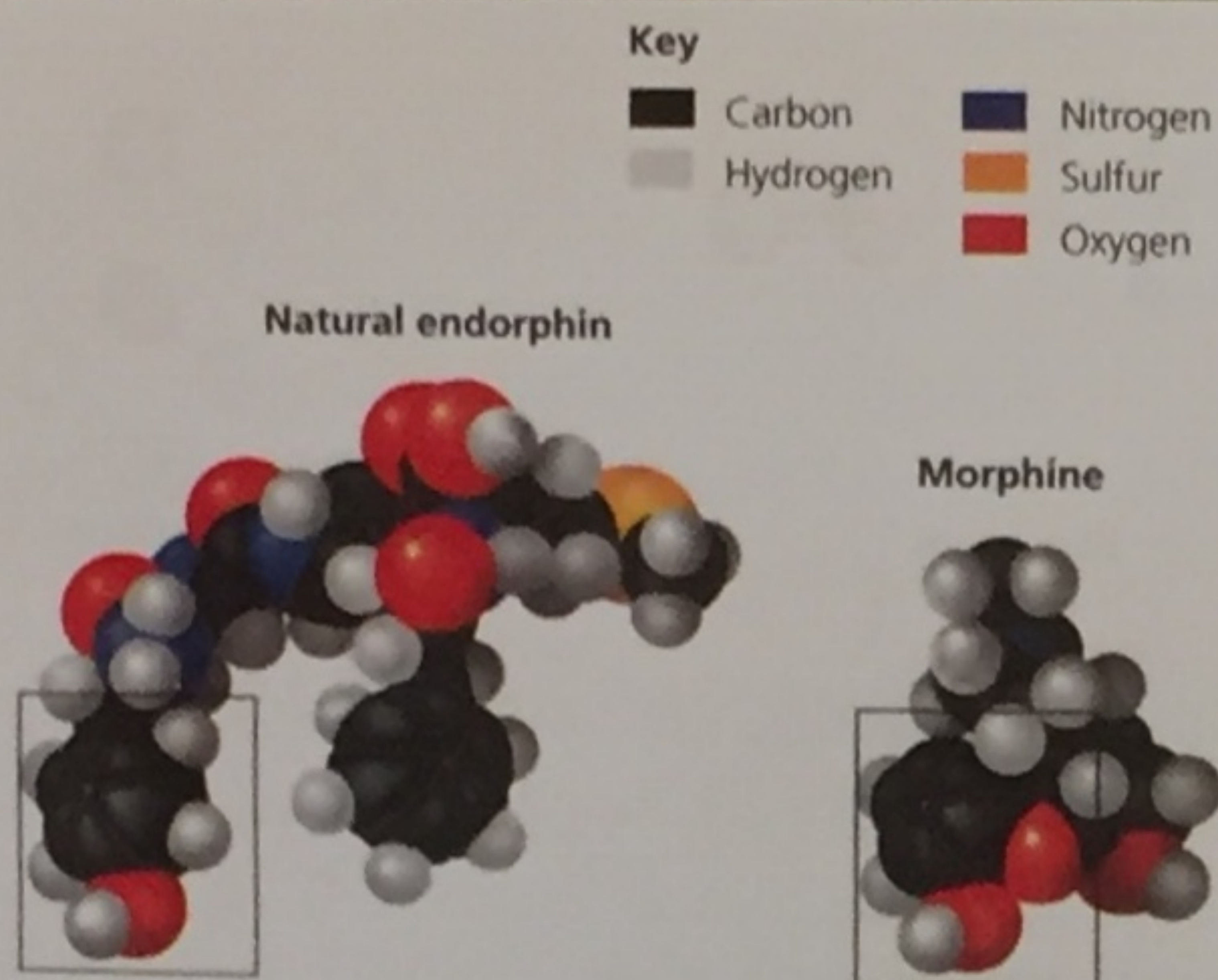

**(b) الگوهای شکل‌های مولکولی.** سه الگو برای بیان شکل مولکولی مولکول‌های آب و متان نشان داده شده است. موقعیت اربیتال‌های هیبرید، تعیین‌کنندهٔ شکل مولکول‌هاست.

▲ **شکل ۱۷-۲ اشکال مولکولی درنتیجهٔ تشکیل اربیتال‌های هیبرید به‌وجود می‌آیند.**

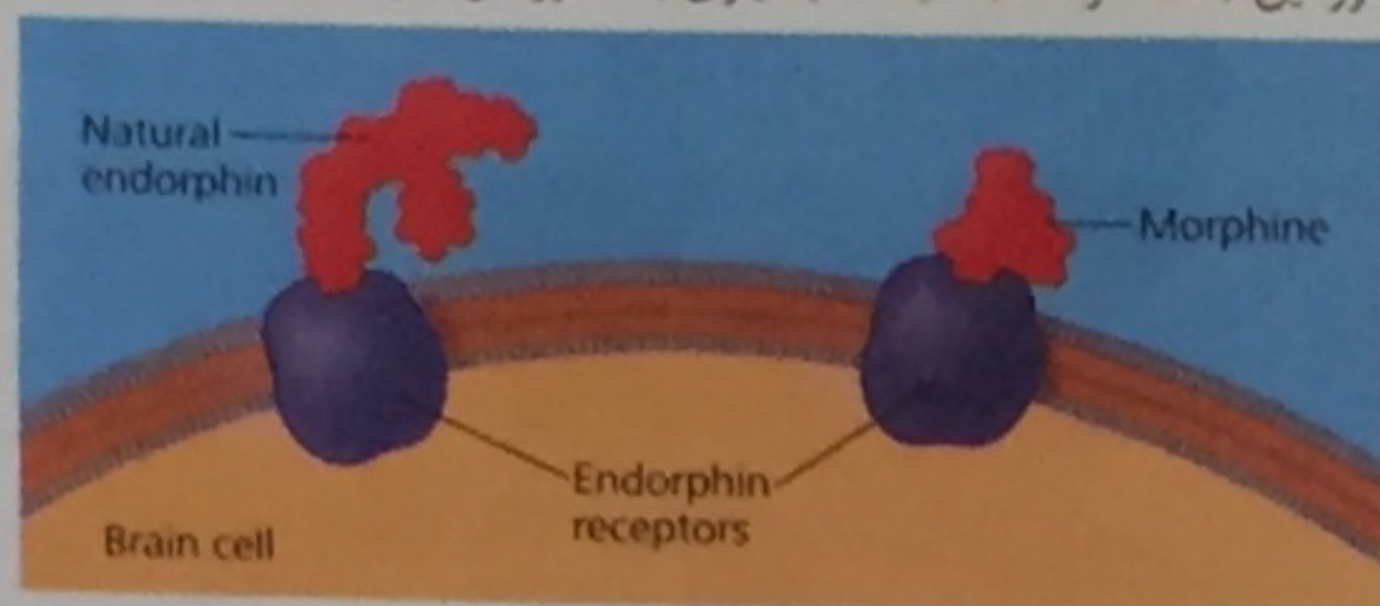
می‌شوند. هنگامی که یک اتم پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهد، اُربیتال‌های موجود در لایهٔ ظرفیت آن تغییر می‌کند. برای مثال در اتم‌هایی که الکترون‌های ظرفیت‌شان در اُربیتال‌های p و s (شکل ۱۰-۲ را ببینید) وجود دارند، یک اُربیتال s و سه اُربیتال p با هم ترکیب شده و چهار اُربیتال جدید هیبرید را به‌شکل قطرهٔ اشک می‌سازند که از محل هستهٔ اتم به‌سمت بیرون گسترش یافته است (شکل ۱۷a-۲). اگر انتهای بزرگ‌تر این اُربیتال‌های اشکی‌شکل را با یک خط به‌هم متصل کنیم، نوعی شکل هندسی به‌صورت یک چهاروجهی شبیه هرم خواهیم داشت. در مولکول آب، دو اُربیتال هیبرید در لایهٔ ظرفیتِ اتم‌های اکسیژن با اتم‌های هیدروژن به اشتراک گذاشته شده‌اند (شکل ۱۷b-۲). نتیجهٔ این هم‌پوشانی، مولکول درشتی به‌شکل حرف V است که در آن دو پیوند کووالانسی با یک زاویهٔ ۱۰۴/۵ درجه‌ای از یکدیگر جدا شده‌اند.

مولکول متان ($CH_4$)، شکلی مانند یک چهاروجهی منتظم را دارد زیرا تمام اُربیتال‌های هیبرید کربن با اتم‌های هیدروژن هم‌پوشانی کرده‌اند (شکل ۱۷b-۲ را ببینید). هستهٔ کربن در مرکز چهاروجهی به‌کمک چهار پیوند کووالانسی با هسته‌های اتم هیدروژن که در چهارگوشهٔ چهاروجهی قرار دارند، پیوند برقرار کرده است. مولکول‌های بزرگ‌ترِ دارای چندین اتم کربن، مانند برخی از مولکول‌های به‌کار رفته در مواد حیاتی، اشکال بسیار پیچیده‌تری دارند، اگرچه اشکال چهاروجهی که از اتصال کربن به چهار اتم هیدروژن به‌وجود می‌آیند نیز در چنین مولکول‌هایی به‌طور متناوب تکرار می‌شوند.

شکل مولکول‌ها در زیست‌شناسی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است زیرا از سویی تعیین‌کنندهٔ نحوهٔ تشخیص آنها و از سوی دیگر تعیین‌کنندهٔ ویژگی آنها برای واکنش با یکدیگر است. تنها، مولکول‌هایی با اشکال معین می‌توانند با پیوندهای ضعیف به یکدیگر بچسبند. یک نمونهٔ نشان‌دهندهٔ این واقعیت سازوکار کنترل درد است. *اندورفین‌ها* مولکول‌هایی طبیعی هستند که با چسبیدن به مولکول‌های خاصی به‌نام گیرنده بر روی سطح سلول‌های مغز، باعث ایجاد حالت نشاط و رهایی از درد می‌شوند. این عمل به‌وسیلهٔ مولکول‌هایی که ساختمان شبه اندورفینی دارند نیز صورت می‌گیرد. برای مثال مورفین، هروئین و برخی دیگر از مواد مخدر، عمل اندورفین‌ها را با اتصال به گیرنده‌های آن در مغز تقلید می‌کنند (شکل ۱۸-۲). نقش شکلِ مولکول‌ها در شیمیِ مغز نشان‌دهندهٔ ارتباط بین ساختار و عملکرد مولکول‌هاست که یکی از موضوعات منحصربه‌فرد زیست‌شناسی می‌باشد.




(a) **ساختار اندورفین و مورفین.** بخش نشانه‌گذاری‌شده در مولکول اندورفین (سمت چپ) به گیرندهٔ مولکولی روی سلول‌های هدف در مغز می‌پیوندد. بخش نشانه‌گذاری‌شدهٔ مولکول مورفین (سمت راست) شباهت بسیاری به اندورفین دارد.




(b) **اتصال به گیرنده‌های اندورفین.** گیرنده‌های اندورفینی، بر روی سلول‌های مغزی توانایی اتصال به هر دو مولکول مورفین و اندورفین را دارند.

▲ **شکل ۱۸-۲ یک تقلید مولکولی.** *مورفین تشخیص درد را با تقلید کردن از اندورفین‌های طبیعی مغز، تحت تأثیر قرار می‌دهد.*

## پرسش‌های مبحث ۳-۲

۱. چرا فرمول ساختاری زیر نمی‌تواند مفهوم شیمیایی آن را بیان کند؟

$$H—C=C—H$$

۲. توضیح دهید اتم‌ها در یک بلور کلرید منیزیم ($MgCl_2$) چگونه در کنار یکدیگر نگه داشته می‌شوند؟

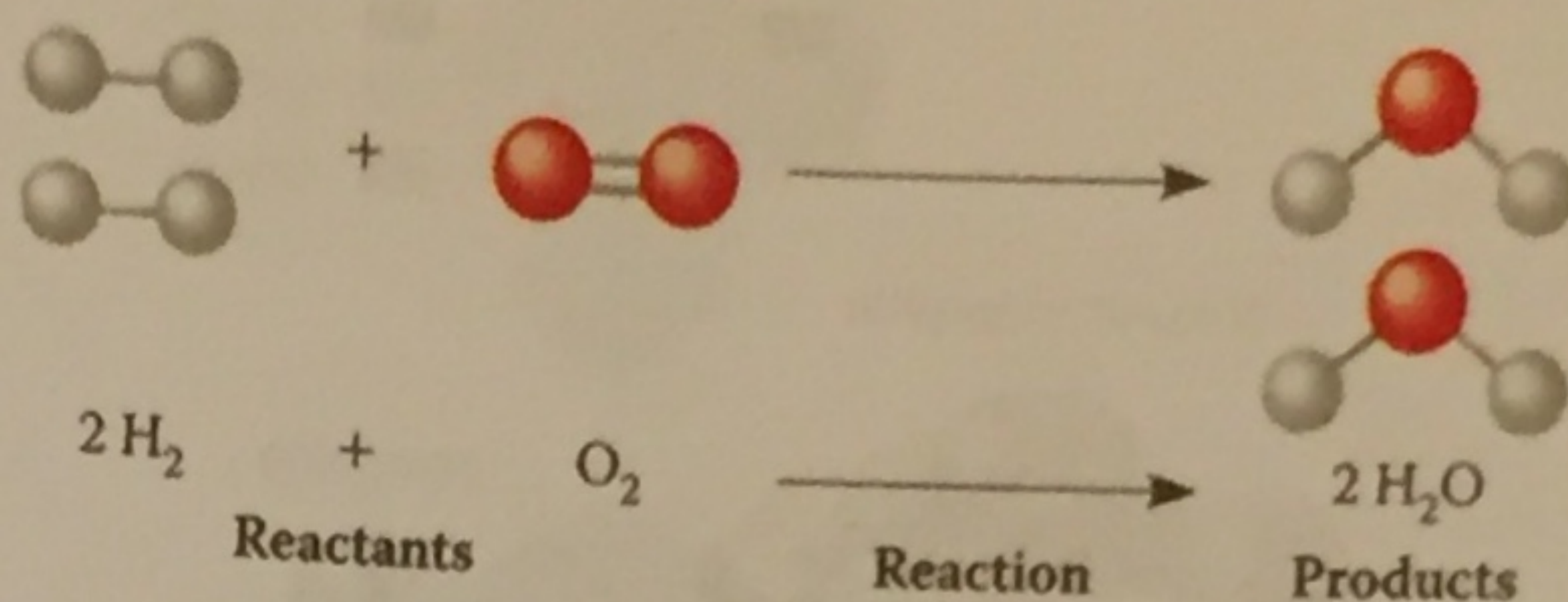
**چه می‌شد اگر؟** اگر شما یک محقق داروساز بودید، چرا می‌خواستید اشکال سه بعدی مولکول‌های پیام‌رسان طبیعی بدن را بیاموزید؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

## ۴-۲ واکنش‌های شیمیایی مسئول تشکیل یا شکستن پیوندهای شیمیایی هستند

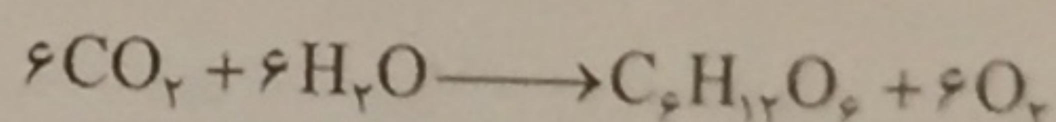
تشکیل و شکستن پیوندهای شیمیایی را که منجر به تغییر در ترکیب مواد می‌شوند، **واکنش‌های شیمیایی**[1] می‌نامند؛ مانند واکنش میان هیدروژن و اکسیژن برای تشکیل آب:

1 - Chemical reactions

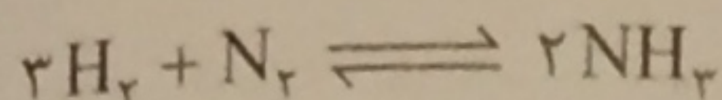



این واکنش منجر به شکسته شدن پیوندهای کووالانسی $H_2$ و $O_2$ شده و پیوندهای تازه‌ای را به‌صورت $H_2O$ تشکیل می‌دهد. هنگامی‌که یک واکنش شیمیایی نوشته می‌شود از یک پیکان برای نشان دادن تغییر مواد اولیه که **واکنش‌گر**[1] نامیده می‌شوند به **فرآورده‌ها**[2] استفاده می‌گردد. ضرایب نشان‌دهندهٔ تعداد مولکول‌های شرکت‌کننده در واکنش است. برای مثال، ضریب ۲ که جلوی $H_2$ آمده است به این معنی است که واکنش با دو مولکول هیدروژن آغاز می‌گردد. به‌یاد داشته باشید که تعداد اتم‌های موجود در واکنش‌گرها با فرآورده‌ها برابر هستند. در یک واکنش شیمیایی مقدار ماده ثابت می‌ماند، یعنی واکنش نمی‌تواند باعث افزایش ماده یا از بین رفتن آن شود، بلکه تنها آن را تغییر می‌دهد.

فتوسنتز که در سلول‌های بافت سبز گیاهان صورت می‌گیرد یک مثال بسیار مهم از چگونگی تغییر مواد به کمک واکنش‌های شیمیایی است. زندگی انسان‌ها و سایر جانوران به‌دلیل نیاز به غذا و اکسیژن، در نهایت بستگی به فتوسنتز دارد، فرایندی که پایهٔ بیشتر اکوسیستم‌ها است. واکنش زیر به‌طور خلاصه فرایند فتوسنتز را نشان می‌دهد:


$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

مواد خام فتوسنتز شامل دی‌اکسید کربن ($CO_2$) و آب است؛ دی‌اکسیدکربن که از هوا گرفته می‌شود و آب که از خاک جذب می‌گردد. در درون سلول‌های گیاهی با استفاده از نور خورشید این اجزا به نوعی از قند به‌نام گلوکز ($C_6H_{12}O_6$) و اکسیژن ($O_2$) که نوعی فراوردهٔ فرعی محسوب می‌شود و گیاه آن‌را به محیط اطراف آزاد می‌کند، تغییر می‌یابند (**شکل ۱۹-۲**). اگرچه فتوسنتز در واقع یک سلسله واکنش‌های شیمیایی پی‌درپی است، اما تعداد و نوع اتم‌های موادی که در پایان این واکنش‌ها به‌وجود می‌آیند دقیقاً برابر تعداد و نوع اتم‌هایی است که در ابتدای واکنش‌ها وجود داشته است. هنگامی‌که انرژی لازم از نور خورشید فراهم شود مواد به سادگی قابل تغییر هستند. بعضی از واکنش‌های شیمیایی هنگامی که همهٔ واکنش‌گرها به فرآورده‌ها تبدیل شدند پایان می‌یابند؛ اما بیشتر واکنش‌ها برگشت‌پذیرند، یعنی محصولات در یک واکنش شیمیایی معکوس به مواد اولیه (واکنش‌گرها) تبدیل می‌شوند. برای مثال، هیدروژن و نیتروژن می‌توانند با هم ترکیب شده و آمونیاک را بسازند، اما آمونیاک نیز می‌تواند به واکنش‌گرهای هیدروژن و نیتروژن تجزیه شود.


$$3H_2 + N_2 \rightleftharpoons 2NH_3$$

پیکان‌های معکوس نشان‌دهندهٔ این است که واکنش برگشت‌پذیر است. یکی از عواملی که بر سرعت واکنش‌ها تأثیر دارد، غلظت واکنش‌گرهاست. غلظت بالای مولکول‌های واکنش‌گر، برخورد مولکول‌ها با یکدیگر را افزایش داده و از این راه احتمال واکنش بین آنها برای تولید فراورده را افزایش می‌دهد. عکس چنین رخدادهایی دربارهٔ فرآورده‌ها نیز صورت می‌گیرد، به‌گونه‌ای که انباشته شدن فرآورده‌ها از راه افزایش برخورد آنها با یکدیگر، احتمال واکنش‌های معکوس را افزایش می‌دهد. احتمالاً واکنش تولید فرآورده‌ها و واکنش‌های معکوس با سرعت یکسانی اتفاق می‌افتند و غلظت‌های نسبی واکنش‌گرها و فرآورده‌ها ثابت باقی می‌ماند. نقطه‌ای که در آن واکنش‌ها دقیقاً با یکدیگر متعادل می‌شوند **تعادل شیمیایی**[3] نامیده



▲ **شکل ۱۹-۲ فتوسنتز: تغییر مواد به کمک نورخورشید.** الودئا (***Elodea***) نوعی گیاه آب‌های شیرین است که طی فتوسنتز با استفاده از انرژی نور خورشید و با بازآرایی اتم‌های $CO_2$ و $H_2O$، قند می‌سازد. بیشتر مولکول‌های قند به مولکول‌های دیگر غذایی تبدیل می‌شوند. گاز اکسیژن، فراوردهٔ جانبی فتوسنتز است. به شکل حباب‌های اکسیژن که از برگ‌ها آزاد می‌شوند توجه کنید.

**؟** توضیح دهید این شکل با واکنش‌دهنده‌ها و محصولات معادلهٔ فتوسنتز که در متن آورده شده چه ارتباطی دارد. (در فصل ۱۰ راجع به فتوسنتز بیشتر خواهید آموخت.)

1 - Reactants
2 - Products
3 - Chemical equilibrium

می‌شود. این تعادل نوعی تعادل دینامیک است یعنی با این‌که واکنش‌ها در حال انجام هستند، ولی تأثیری بر غلظت واکنش‌گرها و فرآورده‌ها ندارند. تعادل به این معنی نیست که غلظت واکنش‌گرها و محصولات برابرند بلکه به این معنی است که غلظت این مواد در یک نسبت به‌خصوص ثابت باقی می‌مانند. واکنش تولید آمونیاک هنگامی به تعادل می‌رسد که سرعت تجزیه آن برابر با سرعت تولید آن شود. در این حالت، مقدار آمونیاک بسیار بیشتر از هیدروژن و نیتروژن است.

پس از بررسی جزئیات بیشتر انواع مولکول‌هایی که در حیات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند، دوباره به موضوع واکنش‌های شیمیایی برمی‌گردیم. در فصل بعدی بر روی موضوع آب متمرکز می‌شویم، ماده‌ای که در همهٔ مراحل واکنش‌های جانداران نقش دارد.

### پرسش‌های مبحث ۴-۲

۱. ارتباط دهید: با توجه به واکنش میان اکسیژن و هیدروژن برای تشکیل آب، که به‌صورت مدل فضایی توپر نمایش داده شده است، نمودار لایه‌های الکترونی بیان کنندهٔ این واکنش را رسم کنید.

۲. در حالت تعادل، کدام‌یک سریع‌تر رخ می‌دهد؛ تشکیل فرآورده‌ها از واکنش‌گرها یا تشکیل واکنش‌گرها از فرآورده‌ها؟

**چه می‌شد اگر؟** معادله‌ای بنویسید که محصولات فتوسنتز، واکنش دهنده‌ها، و واکنش‌دهنده‌های فتوسنتز، محصولات آن باشند. انرژی را نیز به عنوان محصول به آن اضافه کنید. این معادلهٔ جدید فرایندی را توضیح می‌دهد که در سلول‌های شما اتفاق می‌افتد. جزئیات این معادله را شرح دهید. این معادله چه ارتباطی با تنفس دارد؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

# 2 مرور فصل

## خلاصه مفاهیم کلیدی

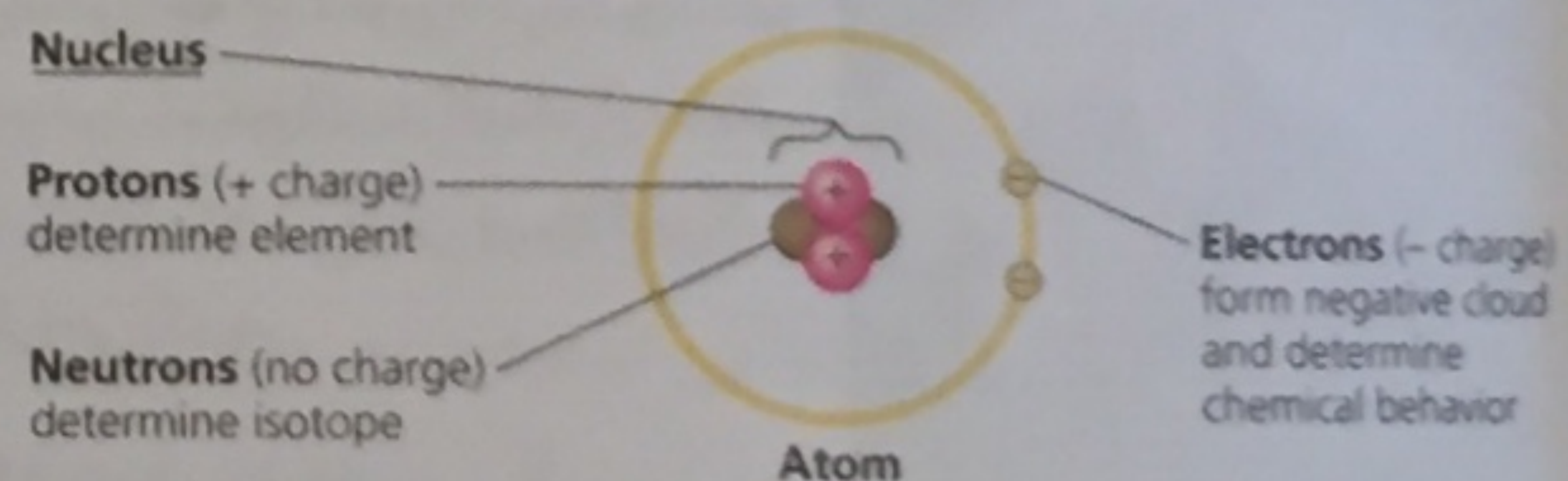
### ۱-۲ ماده در حالت خالص از عنصر شیمیایی تشکیل شده است و در حالت ترکیب، مادهٔ مرکب نامیده می‌شود

- **عناصر** نمی‌توانند به‌روش شیمیایی به دیگر مواد تجزیه شوند. یک **مادهٔ مرکب** از ترکیب دو یا چند عنصر به نسبت معین تشکیل شده است. کربن، اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن تقریباً ۹۶٪ مادهٔ زنده را تشکیل می‌دهند.

**؟** نیاز به ید و آهن در رژیم غذایی از چه جهت با نیاز به کلسیم و فسفات تفاوت دارد؟

### ۲-۲ ویژگی‌های یک عنصر به ساختار اتم‌های آن بستگی دارد

اتم کوچک‌ترین واحد یک عنصر است. یک اتم دارای اجزای زیر است:



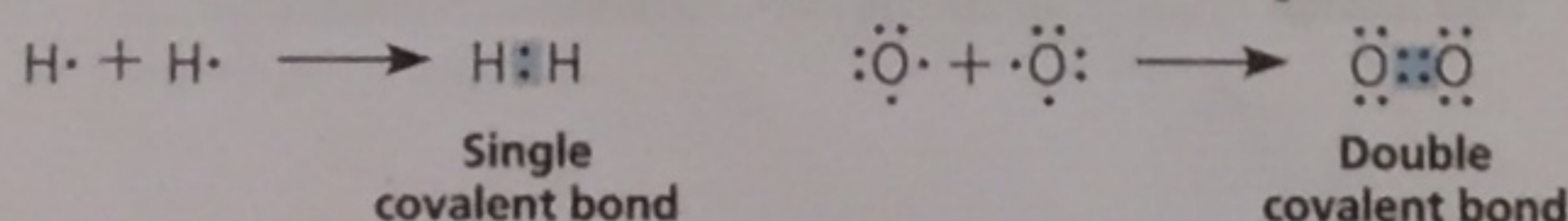

- در اتمی که از نظر الکتریکی خنثی است، تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها با هم برابر است؛ تعداد پروتون‌ها **عدد اتمی** را تعیین می‌کند. **جرم اتمی** تقریباً با مجموع پروتون‌ها و نوترون‌ها برابر است و واحد اندازه‌گیری آن **دالتون** می‌باشد. تعداد نوترون‌های **ایزوتوپ‌های** یک عنصر با هم متفاوت هستند، بنابراین جرم اتمی‌شان با هم فرق دارد. ایزوتوپ‌های ناپایدار ذرات و انرژی را به صورت رادیواکتیویته از دست می‌دهند.
- در یک اتم، الکترون‌ها در **سطوح انرژی** خاصی قرار دارند که هر کدام مربوط به یکی از لایه‌های الکترونی آن اتم هستند. توزیع الکترون‌ها در لایه‌ها رفتار شیمیایی اتم‌ها را تعیین می‌کند. یک اتم دارای **لایهٔ ظرفیت** کامل‌نشده، فعال است.
- الکترون‌ها در داخل **اُربیتال‌ها** وجود دارند.




**رسم کنید** نمودارهای توزیع الکترونی نئون ($_{10}Ne$) و آرگون ($_{18}Ar$) را رسم کنید. با استفاده از این نمودارها توضیح دهید که چرا این عناصر از نظر شیمیایی غیر فعالند.

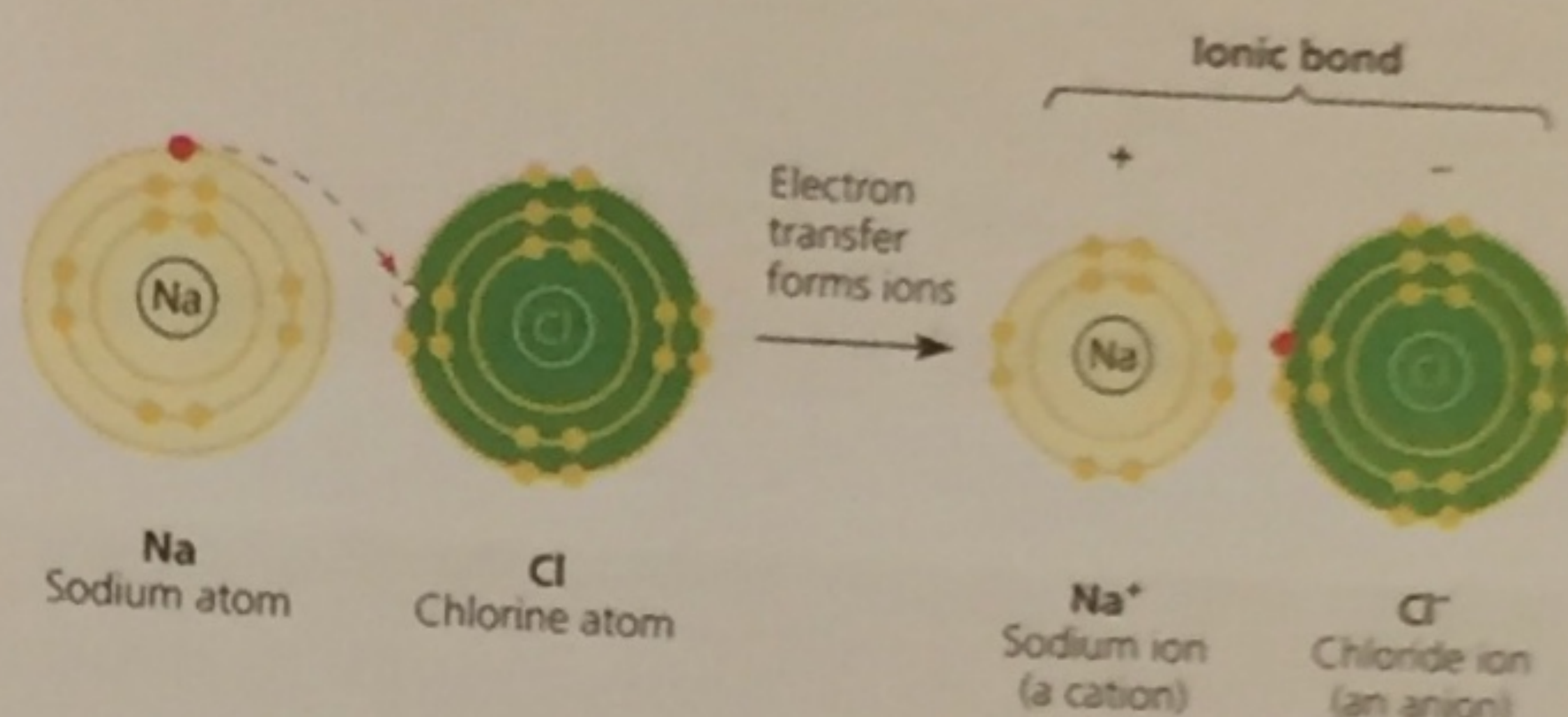
### ۳-۲ شکل و عملکرد مولکول‌ها به پیوندهای شیمیایی بین اتم‌های آن بستگی دارد

- **پیوندهای شیمیایی** زمانی شکل می‌گیرند که اتم‌ها با یکدیگر واکنش داده و لایهٔ ظرفیت‌شان را کامل کنند. یک **پیوند کووالانسی** زمانی شکل می‌گیرد که یک جفت الکترون میان دو اتم به اشتراک گذاشته شود.



**مولکول‌ها** دارای دو یا چند اتم هستند که با پیوند کووالانسی به‌هم پیوسته‌اند. الکترون‌ها در یک پیوند کووالانسی قطبی به‌سوی اتم **الکترونگاتیوتر** کشیده می‌شوند. هنگامی‌که دو اتم از یک جنس باشند یا به بیانی الکترونگاتیویتهٔ یکسانی داشته باشند، پیوند کووالانسی غیرقطبی است.

- دو اتم ممکن است از نظر الکترونگاتیویته آنقدر با هم متفاوت باشند که یک یا چند الکترون کاملاً از یک اتم به دیگری منتقل شود. نتیجهٔ این انتقال تولید یک یون با بار منفی (آنیون) و یک یون با بار مثبت (کاتیون) است. جاذبهٔ بین دو یون با بار الکتریکی مخالف، **پیوند یونی** نامیده می‌شود.




- پیوندهای ضعیف در شکل‌گیری مولکول‌های بزرگ نقش دارند و به مولکول‌ها برای چسبیدن به یکدیگر کمک می‌کنند. یک **پیوند هیدروژنی** نوعی جاذبهٔ ضعیف است میان یک اتم با الکترونگاتیویتهٔ بالا و یک اتم هیدروژن با بار جزئی مثبت. **میانکنش واندروالسی** عبارت است از جاذبهٔ ایجاد شده بین بارهای الکتریکی مثبت و منفی که به‌طور لحظه‌ای بین دو مولکول به‌وجود می‌آیند.
- شکل یک مولکول به‌وسیلهٔ موقعیت اُربیتال‌های ظرفیتی اتم‌های آن تعیین می‌شود. هنگامی‌که یک پیوند کووالانسی به‌وجود می‌آید اُربیتال‌های s و p لایهٔ ظرفیت ممکن است با هم ترکیب شده و یک اُربیتال هیبرید چهاروجهی را تشکیل دهند، مثل یک هرم مجازی. چنین اُربیتال‌هایی می‌توانند درنتیجهٔ تشکیل مولکول آب، متان و برخی مولکول‌های پیچیدهٔ زیستی به‌وجود آیند. شکل مولکول‌ها گاهی اساس تشخیص یک مولکول از دیگری می‌شود.

> **؟** پیوندهای کووالان قطبی، پیوندهای کووالان غیرقطبی و تشکیل یون‌ها را از لحاظ اشتراک الکترون بین اتم‌ها با هم مقایسه کنید.

### ۲-٤ واکنش‌های شیمیایی مسئول تشکیل یا شکستن پیوندهای شیمیایی هستند

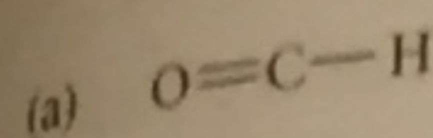
- در **واکنش‌های شیمیایی**، ضمن این‌که ماده حفظ می‌شود، واکنش‌گرها به فرآورده‌ها تبدیل می‌شوند. همهٔ واکنش‌های شیمیایی از نظر تئوری برگشت‌پذیرند. **تعادل شیمیایی** هنگامی رخ می‌دهد که سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم برابر شوند.

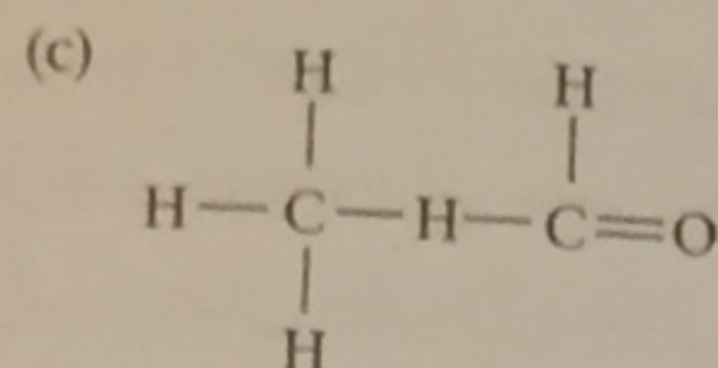
> **؟** اگر واکنش‌گرهای بیشتری به یک واکنش که در حال تعادل است اضافه شوند، غلظت فرآورده‌ها چه تغییری خواهند کرد؟

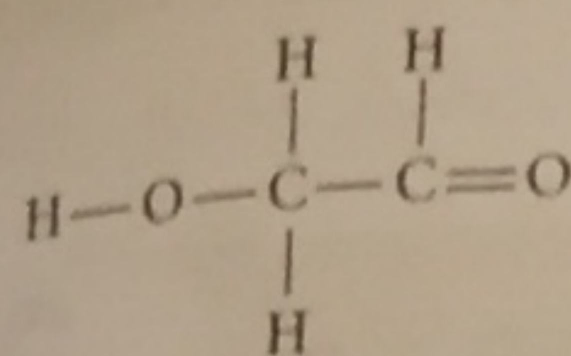
## خود را بیازمایید

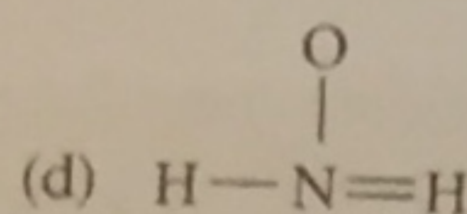
با مراجعه به سایت **www.masteringbiology.com** به سؤالات چند گزینه‌ای ۱ تا ۸ پاسخ دهید.

۹- **رسم کنید** با استفاده از الکترون‌های ظرفیتی هر اتم ساختارهای نقطه‌ای لویس را برای هر یک از مولکول‌های فرضی زیر رسم کنید. تعیین کنید که اتم‌های کدام مولکول دارای لایه ظرفیتی کامل بوده و کدام پیوند دارای تعداد الکترون صحیح است و باعث می‌شوند آن مولکول شکل گیرد. با توجه به تعداد پیوندهایی که هر اتم می‌تواند تشکیل دهد، توضیح دهید که چه چیزی باعث می‌شود سایر مولکول‌ها تشکیل نشوند.




### ۱۰- ارتباط تکاملی

در متن آمده که درصد عناصری که بدن انسان از آنها تشکیل شده است (جدول ۱-۲ را ببینید) همانند دیگر جانداران است. برای این شباهتی که در جانداران می‌بینید چه توضیحی دارید؟

### ۱۱- تحقیق علمی

پروانهٔ مادهٔ ابریشم، جنس نر را با انتشار پیام‌های شیمیایی که به هوا پراکنده می‌کند به‌سوی خود جلب می‌کند. جنس نر می‌تواند این مولکول‌ها را از صدها متر دورتر تشخیص داده و به محل انتشار آن پرواز کند. اندام‌های حسی لازم برای چنین رفتاری در عکس به‌صورت آنتن‌های شانه‌ای‌شکلی دیده می‌شوند. هر رشته از این آنتن‌ها مجهز به هزاران گیرندهٔ سلولی است که مادهٔ جاذب جنسی را تشخیص می‌دهند. براساس آن‌چه که در این فصل آموخته‌اید فرضیه‌ای را پیشنهاد کنید که بیان کند چگونه پروانهٔ نر می‌تواند مولکول‌های معین را از دیگر مولکول‌هایی که در فضا وجود دارند تشخیص دهد. براساس چه پیشگویی، فرضیهٔ شما به‌وجود آمده است؟ یک آزمایش برای سنجش این پیشگویی‌ها طراحی کنید.



### ۱۲- علم، فناوری و جامعه

نیل کمپبل هنگامی‌که در فرودگاه به انتظار نشسته بود ناگهان این فرضیه به ذهنش خطور کرد که چرا این همه سوءظن و نگرانی دربارهٔ مواد آلایندهٔ صنعت کشاورزی ناشی از مواد زائد شیمیایی آنها وجود دارد درحالی‌که مواد موجود در طبیعت هم از همین عناصر به‌وجود آمده‌اند. چه توضیحی برای این بحث دارید؟

# 3

# آب منشأ حیات



▲ شکل ۱-۳ بەنظر شما چرا زیستگاه خرس قطبی به شیمی آب وابسته است؟

## مفاهیم کلیدی

**۳-۱ پیوندهای کووالان قطبی در مولکول‌های آب موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی می‌شوند**

**۳-۲ چهار ویژگی بارز آب، زمین را برای استقرار حیات مناسب ساخته‌است**

**۳-۳ شرایط اسیدی و بازی، جانداران را تحت تأثیر قرار می‌دهد**

## نگاه کلی

### مولکولی که از همهٔ اشکال حیات پشتیبانی می‌کند

اخترشناسان در بررسی‌های تازهٔ خود سیارات جدیدی را پیدا کرده‌اند که به دور ستاره‌ها در حال گردش هستند. آنها امیدوارند شواهدی را مبنی بر وجود آب در این اجرام آسمانی دور بیابند، ماده‌ای که امکان حیات را همانند آنچه در زمین یافت می‌شود، فراهم می‌کند. پیکر جانداران عمدتاً از آب ساخته شده است و در محیطی که با آب دربرگرفته شده، زندگی می‌کنند. آب محیط زیستی را بر روی زمین و احتمالاً بر روی دیگر سیارات فراهم می‌آورد.

حیات بر روی زمین از درون آب آغاز شد؛ یعنی سه میلیارد سال پیش‌ازاینکه حیات بر روی خشکی گسترش یابد. حیات امروزی و حتی زندگی در خشکی، وابسته به آب باقی مانده است. همهٔ جانداران به آب بیش از دیگر مواد نیازمندند. برای مثال، انسان می‌تواند چند هفته بدون غذا زندگی کند، درحالی‌که بدون آب بیش از یک هفته یا کمی بیشتر قادر به ادامهٔ زندگی نیست. مولکول‌های آب در بیشتر واکنش‌های شیمیایی که برای ادامهٔ حیات ضروری هستند نقش دارند. بیشتر سلول‌ها درحالی با آب احاطه شده‌اند که نزدیک به ۹۵-۷۰ درصد ساختمان‌شان نیز از آب ساخته شده است.

سه چهارم سطح زمین از آب پوشیده شده است اگرچه بیشتر این آب به‌شکل مایع است ولی آب به‌صورت یخ و بخار نیز در زمین یافت می‌شود. آب، تنها ماده‌ای است که در طبیعت به سه شکل فیزیکی ماده، یعنی جامد، مایع و گاز، وجود دارد. به علاوه، یخ می‌تواند بر روی آب شناور شود، ویژگی نادری که از شیمیِ مولکول آب ناشی می‌شود. بنابراین یخ می‌تواند زیستگاهی را برای جانورانی مثل خرس قطبی فراهم کند (شکل ۱-۳). فراوانی آب دلیل اصلی قابل سکونت بودن زمین است. در یکی از بهترین کتاب‌هایی که در زمینهٔ بوم‌شناسی به رشتهٔ تحریر در آمده است، یعنی کتاب «قابلیت محیط زیست[1]»، از لارنس هِندِرسون[2] که یک دانشمند بوم‌شناس است، اهمیت آب برای حیات به‌خوبی نشان داده شده است. تأکید آقای هندرسون بر اینکه هریک از اشکال حیات نیازمند یک محیط مناسب است، هنگامی مورد پذیرش قرار می‌گیرد که بدانیم حیات با محیط زیست پیرامون خود از طریق انتخاب طبیعی به سازگاری می‌رسد.

در این فصل خواهید آموخت که چگونه ساختمان مولکول آب اجازهٔ تشکیل پیوندهای شیمیایی ضعیف بین مولکول‌های آب و یا سایر مولکول‌ها را می‌دهد. این ویژگی آب، خواص منحصربه‌فردی را به آن می‌دهد که در استقرار حیات برروی سیارهٔ ما نقش به‌سزایی دارند. هدف از این فصل کسب اطلاعات بیشتر دربارهٔ این ویژگی‌های آب است.

---

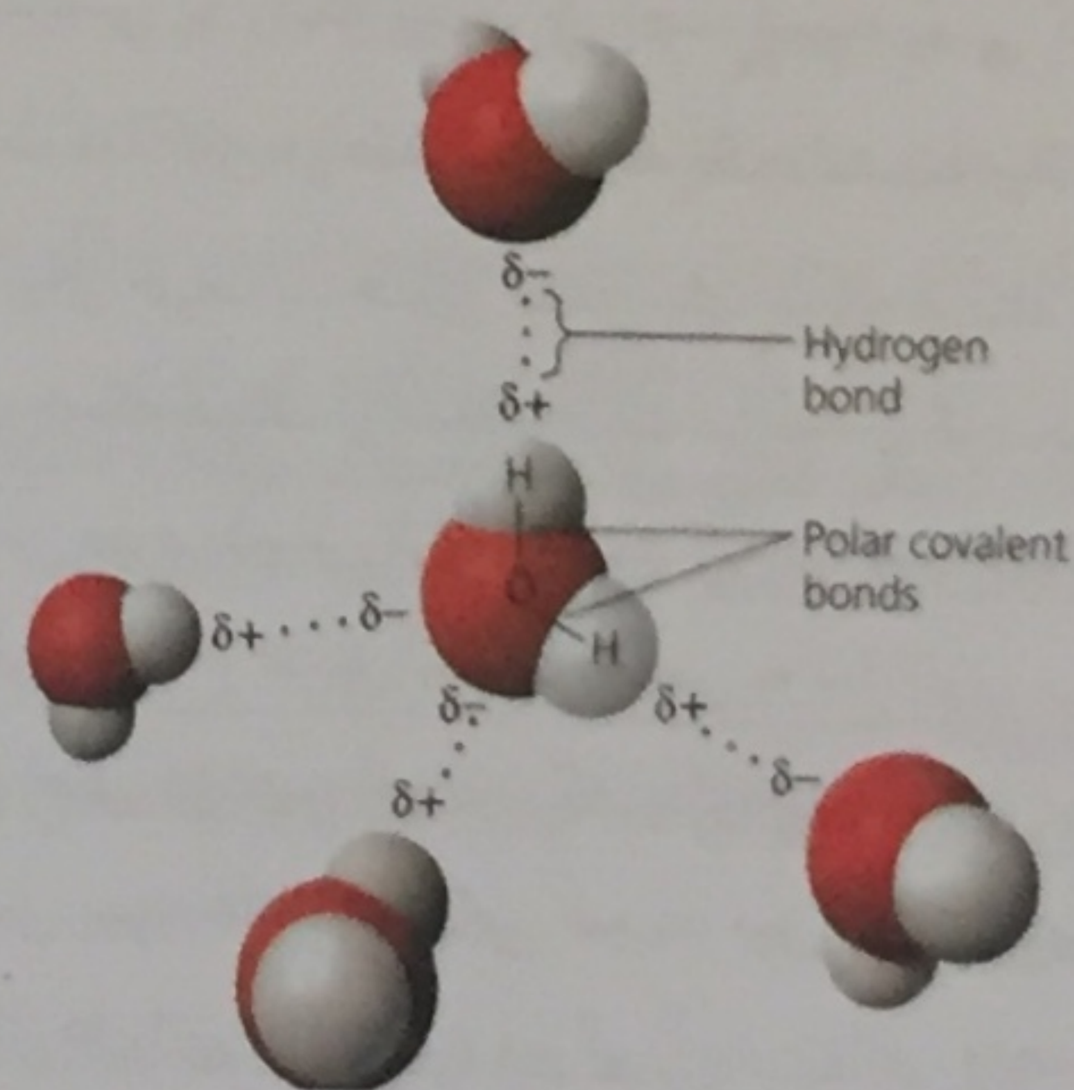
1 - The Fitness of the Environment
2 - Lawrence Henderson

## ۳-۱ پیوندهای کووالان قطبی در مولکول‌های آب موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی می‌شوند

آب آن‌قدر معمولی و عادی است که به‌راحتی می‌توان از این واقعیت که ماده‌ای استثنایی با ویژگی‌هایی فوق‌العاده است، چشم‌پوشی کرد. در واقع، رفتار منحصربه‌فرد آب را می‌توان به ساختمان و میانکنش‌های بین‌مولکولی آن نسبت داد.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که مولکول آب به‌نحو فریبنده‌ای ساده است. در مولکول آب دو اتم هیدروژن وجود دارد که هر کدام با یک پیوند کووالانسی به یک اتم اکسیژن پیوند شده‌اند. چون اکسیژن نسبت به هیدروژن الکترون‌دوست‌تر (الکترونگاتیوتر) است، الکترون‌های پیوند میان دو اتم، بیشتر اوقات پیرامون اتم اکسیژن در گردش‌اند. به بیانی دیگر، پیوندهایی که در مولکول آب اتم‌ها را در کنار یکدیگر نگه می‌دارند، **پیوندهای کووالانسی قطبی** هستند. مولکول آب که شبیه یک V باز است، یک **مولکول قطبی**[1] است، به این معنی که دو انتهای مخالف مولکول، بار الکتریکی مخالف دارند؛ بخشی از مولکول که اکسیژن در آن جای دارد، بار جزئی منفی دارد ($\delta^-$) و بخش دیگری از مولکول که هیدروژن در آن قرار گرفته، دارای بار جزئی مثبت است ($\delta^+$).

ویژگی‌های غیرعادی آب از کشش میان این مولکول‌های قطبی ناشی می‌شود. این کشش نوعی جاذبهٔ الکتریکی است که میان بار جزئی مثبت هیدروژن در یک مولکول با بار جزئی منفی اکسیژن در مولکول مجاور وجود دارد. به این ترتیب دو مولکول آب با یک پیوند هیدروژنی در کنار یکدیگر نگه داشته می‌شوند (شکل ۲-۳). اگرچه شیوهٔ قرار گرفتن مولکول‌ها در آب مایع، پیوسته در حال تغییر است، اما در یک لحظهٔ معین، چند مولکول با چندین پیوند هیدروژنی به‌هم پیوند شده‌اند. ویژگی‌های فوق‌العادهٔ آب، خواص نوپدید آن هستند که از پیوند هیدروژنی ناشی می‌شوند و مولکول‌ها را به سطحی بالاتر از تشکیلات ساختمانی رهنمون می‌کنند.



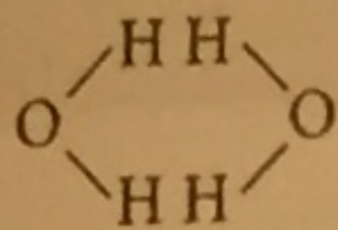

▲ **شکل ۲-۳ پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب.** *بخش‌های باردار مولکول قطبی آب به سوی بخش‌های با بار الکتریکی مخالف در مولکول‌های کناری کشیده می‌شوند. هر مولکول می‌تواند با چندین مولکول دیگر پیوند هیدروژنی برقرار کند، و این ارتباط‌ها، پیوسته درحال دگرگونی هستند.*

1 - Polar molecule

### پرسش‌های مبحث ۳-۱

۱. الکترونگاتیویته چیست و چگونه بر میانکنش‌های بین مولکول‌های آب اثر می‌گذارد؟

۲. چرا قرار گرفتن دو مولکول آب در کنار هم به‌شکل زیر دور از ذهن به‌نظر می‌رسد؟




۳. **چه می‌شد اگر؟** اگر اکسیژن و هیدروژن الکترونگاتیویتهٔ یکسانی داشتند، چه تأثیری بر ویژگی‌های مولکول آب داشت؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

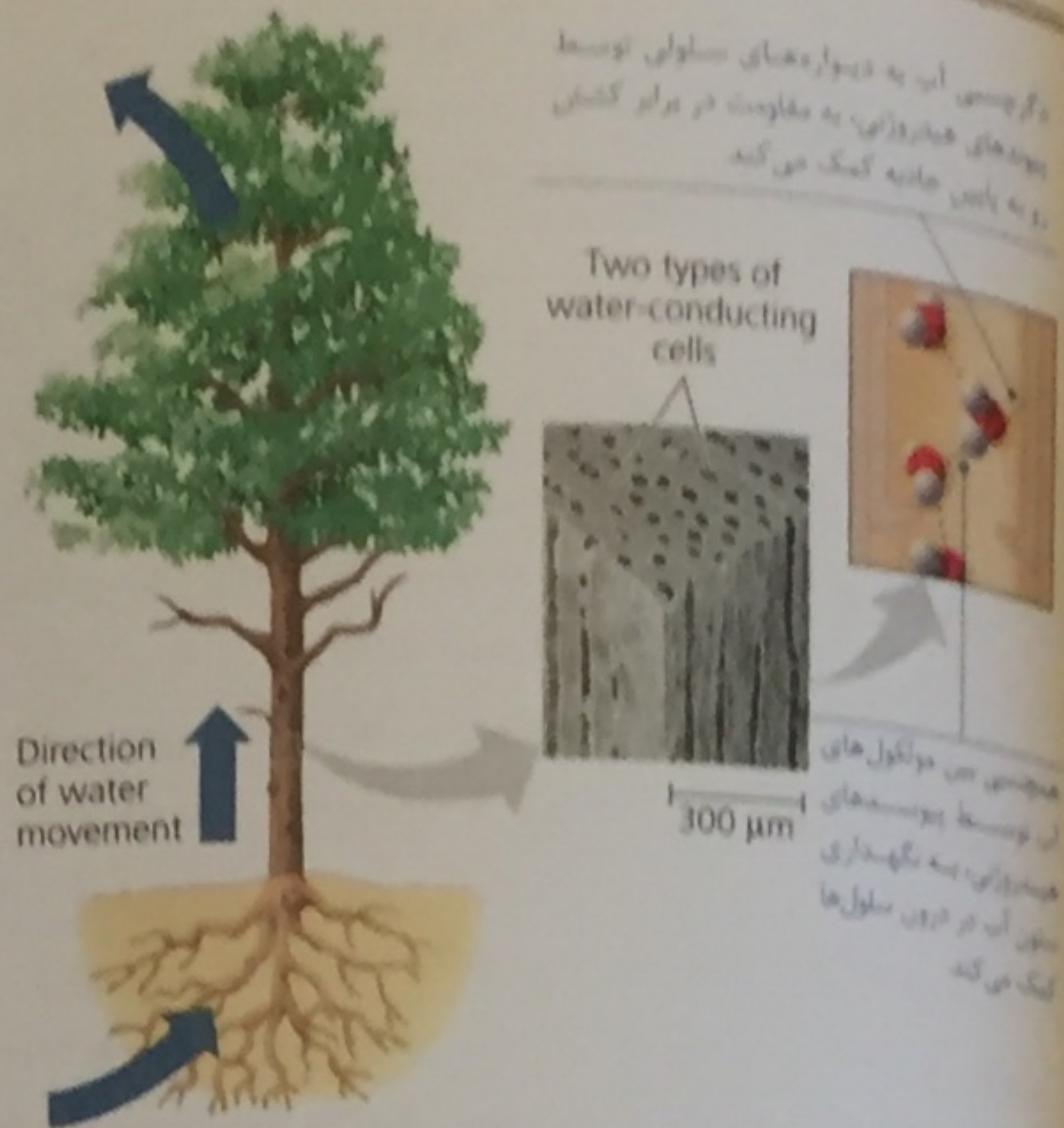
## ۳-۲ چهار ویژگی بارز آب، زمین را برای استقرار حیات مناسب ساخته است

در این مبحث چهار ویژگی برجستهٔ آب که زمین را محیطی مناسب برای حیات قرار داده است بررسی خواهد شد. این ویژگی‌ها عبارتند از: قدرت چسبندگی، توانایی معتدل نگه‌داشتن دما، افزایش حجم آن پس از یخ‌زدن و حلال بودن آن.

### چسبندگی مولکول‌های آب

مولکول‌های آب با پیوندهای هیدروژنی در کنار یکدیگر باقی می‌مانند. هنگامی که آب به‌صورت مایع است، پیوندهای هیدروژنی بسیار شکننده و نزدیک به $\frac{۱}{۲۰}$ قدرت یک پیوند کووالانسی هستند. این پیوندها به‌سرعت تشکیل شده، شکسته می‌شوند و دوباره تشکیل می‌گردند. هر پیوند هیدروژنی چند تریلیونیوم ثانیه باقی می‌ماند اما مولکول‌ها پیوسته در حال تشکیل پیوندهای جدید با مولکول‌های پیرامون خود هستند. بنابراین، در هر لحظه درصد قابل توجهی از مولکول‌های آب به‌هم متصل شده‌اند. این ویژگی، آب را نسبت به بیشتر مایعات دیگر سازمان‌یافته‌تر می‌سازد. در مجموع پیوندهای هیدروژنی، مواد را در فرایندی به‌نام **هم‌چسبی**[2]، پیوسته نگه می‌دارند.

2- Cohesion




▲ **شکل ۳-۳ انتقال آب در گیاهان.** *تبخیر آب از برگ‌ها منجر به بالا رفتن آب از راه سلول‌های هادی آب می‌شود. به‌خاطر ویژگی‌های هم‌چسبی و دگرچسبی، بلندترین درخت‌ها توانایی انتقال آب را به‌طرف بالا، تا بیش از یکصد متر (حدوداً $\frac{1}{2}$ ارتفاع برج میلاد تهران) دارند.*

چسبندگی ناشی از پیوند هیدروژنی، به انتقال آب و مواد معدنی محلول برخلاف جاذبهٔ زمین کمک می‌کند (شکل ۳-۳). آب از ریشه‌ها به کمک یک شبکهٔ سلولی هادی به برگ‌ها می‌رسد. هنگام تبخیر آب از برگ، پیوندهای هیدروژنی موجب می‌شوند مولکول‌های آبی که از رگبرگ‌ها خارج می‌شوند مولکول‌های زیرین را بکشند و این کشش از طریق سلول‌های هادی آب تا ریشه‌ها انتقال پیدا می‌کند. **دگرچسبی**[1]، یعنی چسبیدن یک ماده به مادهٔ دیگر نیز در این انتقال نقش دارد. دگرچسبی آب به دیوارهٔ سلول‌ها، به حرکت آب برخلاف جاذبه کمک می‌کند.

**کشش سطحی**[2] (مقدار نیروی لازم برای کشش یا شکافتن سطح یک مایع) ناشی از هم‌چسبی است. آب کشش سطحی بیشتری نسبت به دیگر مایعات دارد. مولکول‌های آبی که در سطح قرار گرفته‌اند چینشی مرتب و منظم دارند، و با یکدیگر و مولکول‌های زیر خود پیوند هیدروژنی دارند. این موضوع باعث می‌شود آب از یک لایهٔ نامرئی پوشیده شود. کشش سطحی آب را می‌توان با پُر کردن آرام یک لیوان پُر از آب دید؛ در این حالت آب قبل از سرریز کردن روی لبهٔ لیوان می‌ایستد. در مثالی از طبیعت، برخی از جانوران می‌توانند روی آب بایستند، راه بروند و یا بدوند، بدون اینکه در سطح آن شکافی ایجاد شود (شکل ۴-۳).

1 - Adhesion
2 - Surface tension

## تعدیل درجهٔ حرارت توسط آب

آب با گرفتن گرما، دمای هوای گرم‌تر پیرامون خود را کاهش می‌دهد و گرمای ذخیره‌شده را پس از خنک‌تر شدن هوا، از خود آزاد می‌کند. آب به‌عنوان یک مخزن گرما کار می‌کند زیرا می‌تواند مقادیر نسبتاً زیادی از گرما را جذب یا آزاد کند درحالی‌که دمای آن تغییرات بسیار کمی خواهد کرد. برای درک این توانایی آب ابتدا باید نگاهی گذرا به دما و گرما داشته باشیم.

### گرما و دما

هر چیزی که حرکت می‌کند **انرژی جنبشی**[3]، یا انرژی حرکتی دارد. اتم‌ها و مولکول‌ها انرژی جنبشی دارند زیرا همیشه در حال حرکت هستند، اگرچه این حرکت الزاماً در جهت خاصی صورت نمی‌گیرد. هر چه حرکت مولکول تندتر باشد، انرژی جنبشی بیشتری دارد. **گرما**[4]، اندازه‌ای از مجموع انرژی جنبشی همهٔ مولکول‌های موجود در ماده است. **دما**[5] مقیاسی برای اندازه‌گیری شدت گرماست که میانگینی از انرژی جنبشی مولکول‌ها می‌باشد. هنگامی‌که میانگین سرعت مولکول‌ها افزایش می‌یابد، دماسنج، دمای بالاتری را نشان می‌دهد. گرما و دما باهم ارتباط دارند، اما یکی نیستند. یک شناگر که در حال شنا در عرض کانال انگلیس است، دمای بالاتری نسبت به آب دارد، اما اقیانوس به‌دلیل حجم خیلی زیادش از گرمای بسیار بالاتری برخوردار است.



▲ **شکل ۴-۳ راه رفتن برروی آب.** *کشش سطحی بالای آب، که درنتیجهٔ مجموع کشش ایجادشده با پیوندهای هیدروژنی به‌وجود می‌آید، به این عنکبوت اجازه می‌دهد تا برروی سطح تالاب راه برود.*

3 - Kinetic energy
4 - Heat
5 - Temperature

هرگاه دو شیء که دمای متفاوت دارند در کنار هم قرار بگیرند، تا هنگامی‌که درجه حرارت هر دو یکسان شود، گرما از جسم گرم‌تر به جسم سردتر منتقل می‌شود. سرعت مولکول‌ها در جسم سردتر، با گرفتن انرژی جنبشی از جسم گرم‌تر، افزایش می‌یابد. یک تکه یخ، یک نوشیدنی را نه به‌دلیل افزودن سرما به آن، بلکه با گرفتن گرمای آن و ذوب شدن خودش خنک می‌کند.

ما در این کتاب **مقیاس سلسیوس**[1] را برای نشان دادن دما به‌کار می‌بریم. (درجهٔ سلسیوس به اختصار با $^{\circ}C$ نشان داده می‌شود.) در سطح دریا، آب در صفر درجهٔ سانتی‌گراد یخ می‌زند و در $100^{\circ}C$ به‌جوش می‌آید. دمای بدن انسان به‌طور متوسط $37^{\circ}C$ است و دمای مناسب برای اتاق بین $20 - 25^{\circ}C$ می‌باشد.

یکی از واحدهای مناسب برای گرما که در این کتاب مورد استفاده قرار گرفته، **کالری**[2] (cal) است. یک کالری مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک گرم آب به اندازهٔ $1^{\circ}C$ است. در عین حال، یک کالری مقدار گرمایی است که یک گرم آب از دست می‌دهد تا یک درجهٔ سانتی‌گراد سرد شود. یک **کیلوکالری (kcal)**[3] یا به‌عبارتی هزار کالری، مقدار گرمای لازم برای افزایش یک درجهٔ سانتی‌گرادی دمای یک کیلوگرم آب است. (کالری‌های روی بسته‌های مواد غذایی در واقع کیلوکالری هستند.) دیگر واحد انرژی که در این کتاب مورد استفاده قرار گرفته، **ژول**[4] (J) است. یک ژول برابر ۰/۲۳۹ کالری است و یک کالری برابر ۴/۱۸۴ ژول است.

### گرمای ویژهٔ بالای آب

توانایی آب در تثبیت درجهٔ حرارت، به گرمای ویژهٔ بالای آب مربوط می‌شود. **گرمای ویژهٔ** یک ماده عبارت است از مقدار گرمایی که یک گرم از آن ماده باید جذب کند (یا از دست بدهد) تا دمای آن $1^{\circ}C$ تغییر کند. پیش از این، گرمای ویژهٔ آب را شناختیم زیرا همان‌گونه که در تعریف کالری گفته شد، یک کالری مقدار گرمایی است که دمای یک گرم آب را یک درجهٔ سانتی‌گراد تغییر می‌دهد. بنابراین گرمای ویژهٔ آب، یک *کالری بر گرم بر درجهٔ سلسیوس* است (به اختصار $1\ cal/g.^{\circ}C$). در مقایسه با دیگر مواد، آب از گرمای ویژهٔ بالا و غیرمعمولی برخوردار است. برای مثال، گرمای ویژهٔ اتیل الکل، یکی از انواع الکل‌های مشروبات الکلی، $0/6\ cal/g.^{\circ}C$ است، یعنی تنها ۰/۶ کالری لازم است تا دمای یک گرم اتیل الکل یک درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یابد.

چون آب گرمای ویژهٔ بیشتری نسبت به دیگر مواد دارد، در برابر جذب مقدار معینی گرما، دمای آب نسبت به مواد دیگر کم‌تر افزایش پیدا می‌کند. دلیل اینکه انگشتان شما پس از تماس با دستهٔ فلزی یک کتری که آب درون آن هنوز نیمه‌گرم است می‌سوزد این است که، گرمای ویژهٔ آب ده برابر آهن است. به‌عبارت دیگر، یک گرم آهن تنها نیاز به ۰/۱ کالری برای افزایش یک درجهٔ سانتی‌گراد دمای خود دارد. گرمای ویژه می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای میزان مقاومت مواد نسبت به تغییرات دما، در هنگام جذب یا آزاد کردن گرما، در نظر گرفته شود. آب در برابر تغییرات درجهٔ حرارت مقاومت می‌کند؛ هنگامی‌که دمای آب تغییر می‌کند، اندازه‌های نسبتاً زیادی از گرما را باید به ازای هر درجه تغییر دما، گرفته و یا از دست بدهد.

می‌توان گرمای ویژهٔ بالای آب را نیز مانند دیگر ویژگی‌های آب به پیوندهای هیدروژنی ارتباط داد. برای شکستن پیوندهای هیدروژنی گرما مصرف می‌شود و هنگام تشکیل پیوندهای هیدروژنی گرما آزاد می‌گردد. یک کالری گرما، تغییرات اندک دمایی را در آب سبب می‌شود زیرا بیشتر گرمای مورد استفاده، صرف شکستن پیوندهای هیدروژنی می‌شود تا صرف افزایش حرکت مولکول‌ها. و هنگامی‌که دمای آب به آرامی کاهش می‌یابد تعدادی پیوند هیدروژنی جدید تشکیل می‌شود و به‌همین دلیل انرژی ناشی از تشکیل پیوند به‌صورت گرما آزاد می‌گردد.

چه ارتباطی میان گرمای ویژهٔ بالای آب و حیات بر روی زمین وجود دارد؟ حجم زیادی از آب می‌تواند مقادیر بسیار زیادی از گرمای خورشید را در طول روز و در تابستان جذب کند، درحالی‌که تنها چند درجه گرم‌تر می‌شود. در طول شب و فصل زمستان، سرد شدن تدریجی آب می‌تواند باعث گرم شدن هوا شود. به‌همین دلیل معمولاً بخش‌های ساحلی از بخش‌های داخل کشور، آب و هوای معتدل‌تری دارند (**شکل ۵-۳**). بنابراین، به‌خاطر گرمای ویژهٔ بالای آب و با توجه به پوشیده شدن بخش اعظم سطح زمین از آب، زمین در برابر افت و خیزهای دمایی محافظت می‌شود. همچنین چون آب مادهٔ اصلی سازندهٔ بدن جانداران است، آنها می‌توانند نسبت به هنگامی‌که احتمالاً بدن‌شان از یک مایع با گرمای ویژهٔ پایین‌تر ساخته شده بود، در برابر تغییرات دمایی بدن‌شان بیشتر مقاومت کنند.




▲ **شکل ۵-۳ تأثیر مقدار زیاد آب بر اقلیم.** اقیانوس‌ها با جذب و رها کردن گرما، اقلیم سواحل را تعدیل می‌کنند. در این مثال از یکی از روزهای شهریور ماه در کالیفرنیای جنوبی، اقیانوس نسبتاً سرد با جذب گرما، دمای هوای ساحلی را کاهش می‌دهد

1 - Celsius scale
2 - Calorie (cal)
3 - kilocalorie (kcal)
4 - Joule (J)

### خنک‌شدن به کمک تبخیر

مولکول‌های همهٔ مایعات به‌دلیل اینکه یکدیگر را جذب می‌کنند، نزدیک به هم باقی می‌مانند. مولکول‌هایی که با سرعت کافی حرکت می‌کنند و می‌توانند بر این جاذبه غالب شوند، از حالت مایع بیرون آمده و به‌صورت یک گاز وارد هوا می‌شوند. تغییر حالت ماده از مایع به گاز، **تبخیر**[1] نامیده می‌شود. به‌یاد بیاورید که سرعت حرکت مولکول‌ها متفاوت است و دمای یک ماده، متوسط انرژی جنبشی مولکول‌هاست. حتی در دماهای پایین، سریع‌ترین مولکول‌ها می‌توانند در هوا آزاد شوند. در هر دمایی مقداری تبخیر صورت می‌گیرد؛ برای مثال یک لیوان آب در دمای اتاق سرانجام تبخیر خواهد شد. اگر یک مایع در گرما قرار گیرد، میانگین انرژی جنبشی مولکول‌های آن افزایش یافته و با سرعت بیشتری تبخیر می‌شود.

**گرمای تبخیر**[2] عبارت است از مقدار گرمایی که یک مایع باید جذب کند تا یک گرم از آن از حالت مایع به حالت گاز تغییر کند. آب به‌دلیل گرمای ویژهٔ بالا، نسبت به دیگر مایعات از گرمای تبخیر بالاتری برخوردار است. برای تبخیر یک گرم آب در دمای $۲۵°C$ به ۵۸۰ کالری گرما نیاز است، یعنی تقریباً دو برابر گرمای لازم برای تبخیر یک گرم الکل یا آمونیاک. گرمای تبخیر بالای آب یکی دیگر از خصوصیات برجستهٔ آن است که از پیوندهای هیدروژنی ناشی می‌شود، زیرا این پیوندها بایستی پیش از خروج مولکول‌ها از حالت مایع شکسته شوند.

گرمای تبخیر آب به تعدیل آب و هوای زمین کمک می‌کند. مقدار چشمگیری از گرمای خورشید توسط دریاهای نواحی گرمسیری جذب شده و صرف تبخیر آب از سطح دریاها می‌شود. هنگامی‌که هوای مرطوب نواحی گرمسیری به سوی قطب حرکت می‌کند گرمای خود را آزاد کرده و به‌صورت باران فشرده می‌شود.

هنگام تبخیر یک مایع، سطوح زیرین مایع سرد می‌شود. خنک‌شدن در اثر تبخیر به این دلیل رخ می‌دهد که گرم‌ترین مولکول‌ها که بیشترین انرژی جنبشی را دارند به حالت گاز خارج می‌شوند درست مانند اینکه در صورت انتقال یکصد دانشجوی دوندهٔ سریع از یک دانشکده به دانشکدهٔ دیگر، میانگین سرعت دانشجویان باقی‌مانده در دانشکدهٔ مبدأ کاهش می‌یابد.

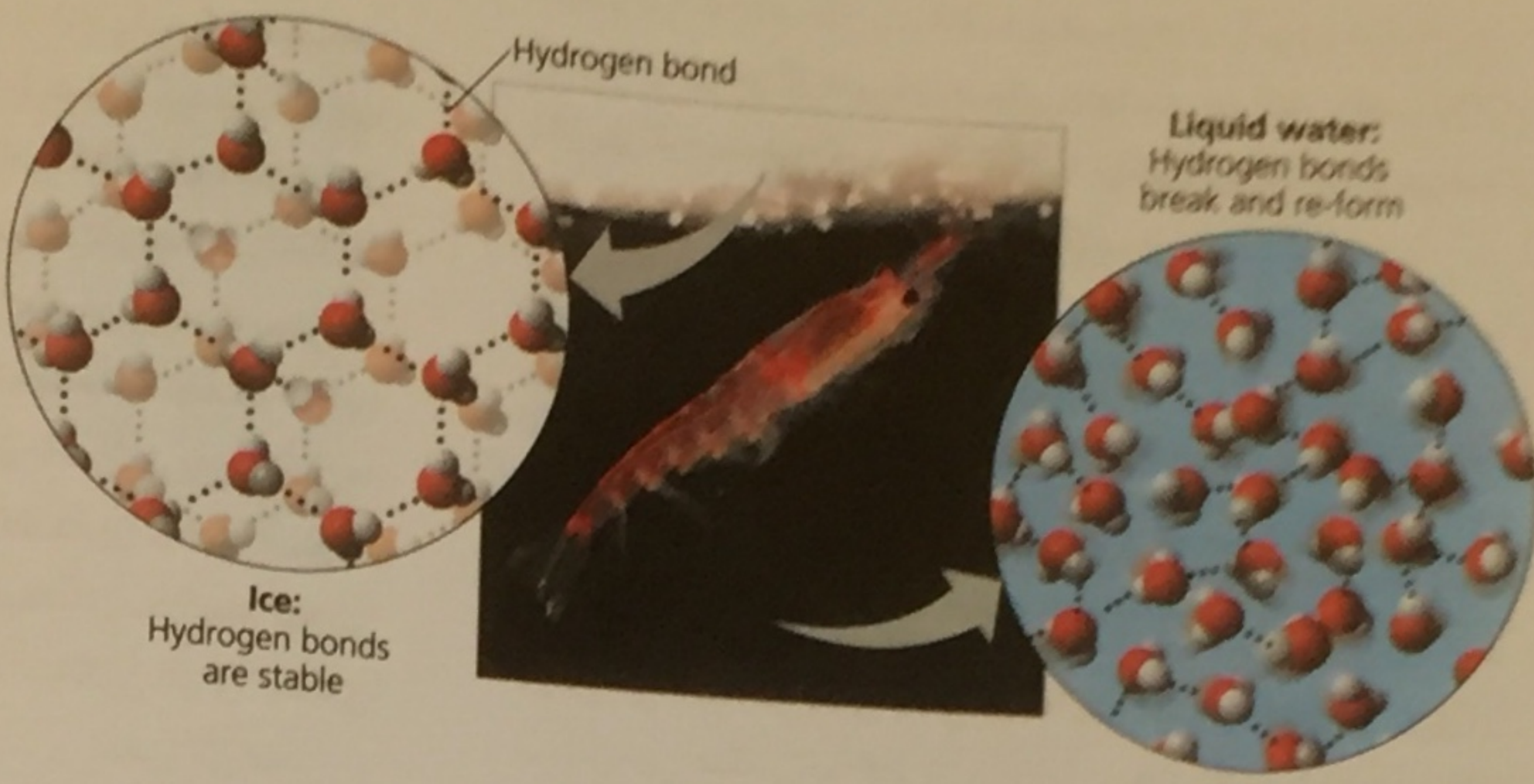
خنک شدن در اثر تبخیر به پایداری دمای پیرامون دریاچه‌ها و برکه‌ها کمک کرده و از این راه از گرمازدگی جانداران ساکن اطراف آنها نیز جلوگیری می‌کند. مثال دیگر این‌که، تبخیر از برگ‌های یک گیاه، از گرم شدن بیش از حد بافت‌های آن در برابر نور خورشید جلوگیری می‌کند تبخیر عرق از سطح پوست موجب پراکنده شدن گرمای بدن شده و از گرم شدن بیش از حد بدن در روزهای گرم و هنگام تولید گرمای اضافی در کارهای شدید بدنی جلوگیری می‌کند. رطوبت بالا در یک روز گرم بسیار آزاردهنده است، زیرا تراکم بالای بخار آب در هوا از تبخیر عرق از سطح بدن جلوگیری می‌کند.

### شناور شدن یخ بر روی آب مایع

آب از مواد نادری است که چگالی آن در حالت جامد کمتر از چگالی آن در حالت مایع است. به‌عبارت دیگر، یخ بر سطح آب شناور باقی می‌ماند. برخلاف دیگر مواد که هنگام انجماد منقبض می‌شوند، آب منبسط می‌شود. علت این رفتار عجیب آب باز هم، پیوندهای هیدروژنی است. در دمای بالای $۴°C$ رفتار آب مانند دیگر مایعات است، یعنی هنگامی‌که گرم می‌شود، منبسط و وقتی سرد می‌شود، منقبض می‌گردد. آب هنگامی شروع به یخ‌زدن می‌کند که حرکت مولکول‌های آن از توان کافی برای شکستن پیوندهای هیدروژنی برخوردار نیستند. هنگامی‌که درجه حرارت تا $۰°C$ افت می‌کند، آب شروع به قفل شدن به‌صورت یک شبکهٔ بلوری می‌کند که در آن هر مولکول آب با چهار مولکول اطراف خود پیوند برقرار کرده است (شکل ۶- ۳). پیوندهای هیدروژنی، مولکول‌های آب را به اندازهٔ «طول بازوها» از هم دور نگه می‌دارند که سبب می‌شود چگالی یخ تشکیل‌شده ۱۰٪ کمتر از آب مایعِ $۴°C$ شود (۱۰٪ مولکول‌های کمتر برای همان حجم). هنگامی‌که یخ حرارت کافی برای افزایش درجهٔ حرارت به بالاتر از $۰°C$ را دریافت می‌کند، پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌ها از میان می‌روند. با متلاشی شدن بلور، یخ ذوب می‌شود و مولکول‌ها آزاد شده و در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. آب در $۴°C$ به بالاترین چگالی خود می‌رسد و با افزایش حرکت مولکول‌ها شروع به انبساط می‌کند. به‌یاد داشته باشید که حتی در حالت مایع برخی از مولکول‌های آب به‌صورت لحظه‌ای و گذرا با پیوندهای هیدروژنی به‌هم متصل شده‌اند. پیوندهای هیدروژنی دائماً در حال شکسته شدن و تشکیل دوباره هستند.

توانایی یخ برای شناور شدن بر سطح آب به‌دلیل انبساط آن هنگام یخ زدن، عاملی مهم در مناسب شدن محیط برای حیات است. اگر یخ در آب فرو می‌رفت، همهٔ تالاب‌ها، دریاچه‌ها و حتی اقیانوس‌ها سرانجام یخ می‌زدند و زندگی به شکلی که می‌شناسیم بر روی زمین ناممکن می‌شد. در طول تابستان، تنها چند سانتی‌متر رویی آب اقیانوس‌ها گرم می‌شود. در عوض، هنگامی‌که بخش وسیعی از آب سرد می‌شود، یخ‌های شناور، آب زیر خود را عایق کرده و از یخ زدن آن جلوگیری می‌کنند و از این راه (همان‌گونه که در شکل ۶- ۳ نشان داده شده)، ادامهٔ حیات در زیر سطح یخ‌زده را ممکن می‌سازند.

---
1 - Evaporation
2 - Heat of vaporization




▶ **شکل ۶-۳ یخ: ساختمانی بلوری و سدی شناور.** در یخ، هر مولکول با چهار مولکول مجاور خود در یک بلور سه‌بعدی، پیوندهای هیدروژنی برقرار کرده است. به‌دلیل فضادار بودن بلور یخ، مولکول‌های کمتری نسبت به حجم مساوی از آب در حالت مایع دارد. به‌بیان دیگر، یخ چگالی کمتری نسبت به آب مایع دارد. یخ‌های شناور مانند سدی از آب‌های زیرین خود در برابر هوای سردتر حفاظت می‌کنند. موجود دریایی که در شکل نشان داده شده نوعی میگو است؛ عکس از زیر یخ گرفته شده است.

**چه می‌شد اگر؟** اگر آب پیوندهای هیدروژنی تشکیل نمی‌داد، چه اتفاقی برای محیط زندگی میگو می‌افتاد؟

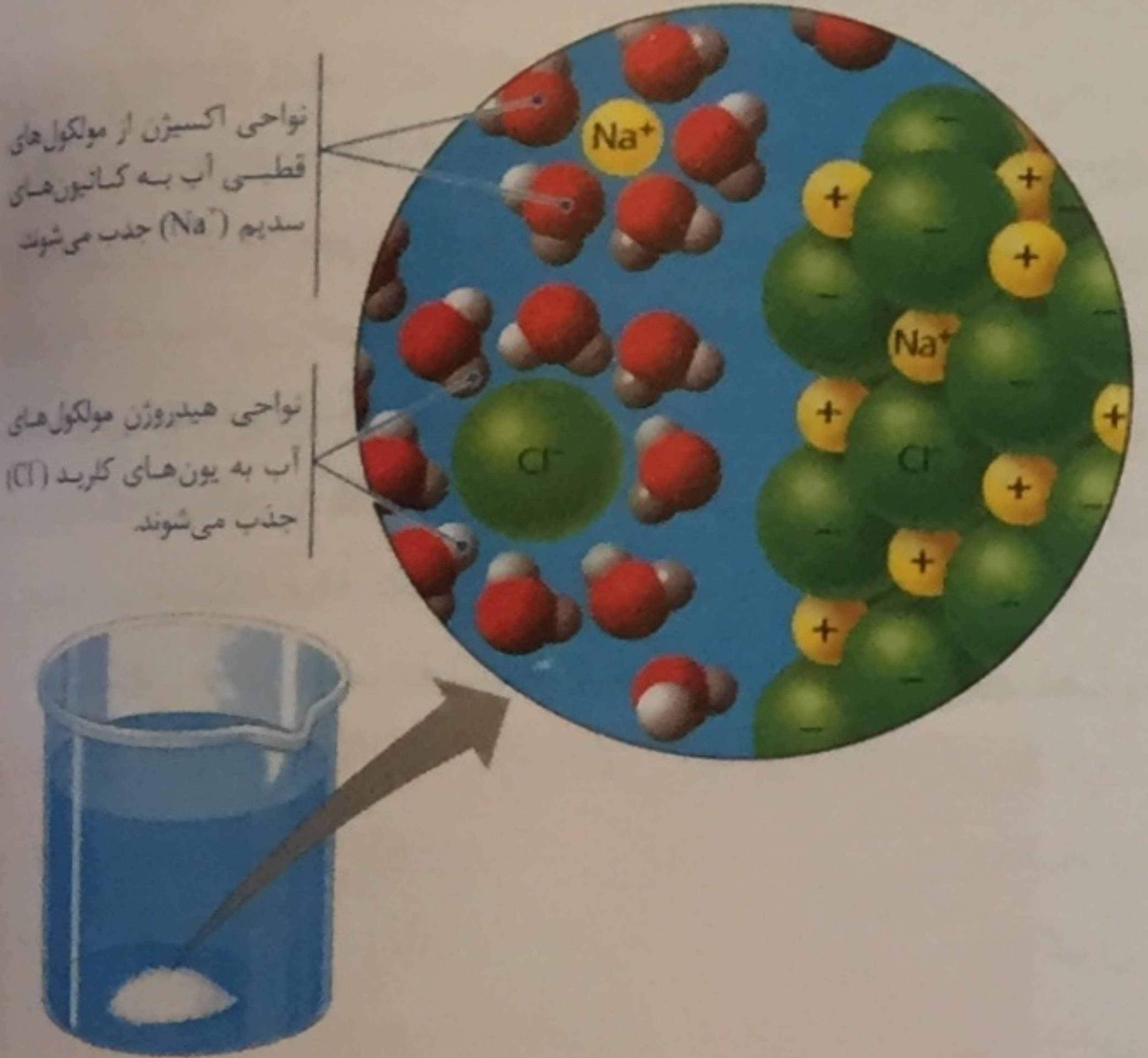
بسیاری از دانشمندان نگران از بین رفتن این قطعه‌های یخی هستند. گرم شدن جهانی حاصل از دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای «گلخانه‌ای» اتمسفر، تأثیر بسیار زیادی بر روی محیط‌های یخی سراسر جهان دارد. متوسط دمای هوا در قطب شمال از سال ۱۹۶۱، ۱/۴°C افزایش یافته است. این افزایش دما تعادل فصلی بین یخ و آب مایع در دریای منجمد شمالی را برهم زده است و باعث شده در طول سال یخ دیرتر تشکیل شده، زودتر ذوب شود و منطقهٔ کوچک‌تری را بپوشاند. سرعت ناپدید شدن رودخانه‌های یخی و دریای منجمد شمالی، رقابت شدیدی را بین حیوانات به‌وجود آورده است که بقای آنها وابسته به یخ است.

### آب: حلال حیات

یک حبه قند که در یک لیوان آب قرار می‌گیرد در آن حل خواهد شد. در این حالت، لیوان دارای محلول همگنی از آب و شکر خواهد بود و غلظت شکر حل‌شده در همه‌جای محلول یکسان است. مایعی که مخلوط کاملاً همگنی از دو یا چند ماده باشد، **محلول**[1] نامیده می‌شود. عامل حل کنندهٔ یک محلول، **حلّال**[2] و ماده‌ای که حل شده، **حل‌شونده**[3] نامیده می‌شود. در مثال قبلی، آب حلال و شکر مادهٔ حل شونده هستند. یک **محلول آبی**[4]، محلولی است که حلال آن آب باشد.

شیمیدان‌های قرون وسطی تلاش می‌کردند حلالی عمومی را بیابند که همه چیز را در خود حل کند. آنها آموختند که هیچ‌چیز بهتر از آب عمل نمی‌کند. اما آب یک حلال عمومی نیست؛ زیرا اگر چنین بود، همهٔ ظرفی که آب در آن بود از جمله سلول‌های بدن ما حل می‌شد. آب یک حلال بسیار روان است، کیفیتی که به قطبیت مولکول‌های آب ارتباط دارد.

فرض کنید بلور نوعی ترکیب یونی مانند نمک‌طعام (NaCl) در آب قرار داده شود (**شکل ۷-۳**). یون‌های سدیم و کلری که در سطح بلور هستند در مجاورت حلال قرار می‌گیرند. میان این یون‌ها و مولکول‌های آب جاذبهٔ الکتریکی دوسویه وجود دارد. بخش اکسیژن‌دار مولکول آب که بار منفی دارد، به یون سدیم متصل می‌شود. بخش هیدروژن‌دار مولکول آب که دارای بار مثبت است، توسط یون‌های کلر جذب می‌شود. درنتیجه، مولکول‌های آب، اطراف یون‌های سدیم و کلر را دربرگرفته، آنها را از یکدیگر جدا کرده و پوشش می‌دهند. به پوشش مولکول‌های آب که هر یون حل‌شده را




▲ **شکل ۷-۳ یک بلور نمک طعام در آب حل می‌شود.** پوششی از مولکول‌های آب، که لایهٔ هیدراته نامیده می‌شود، اطراف هر یون حل‌شده را دربر گرفته است.

**چه می‌شد اگر؟** اگر این محلول را برای مدت طولانی حرارت دهیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

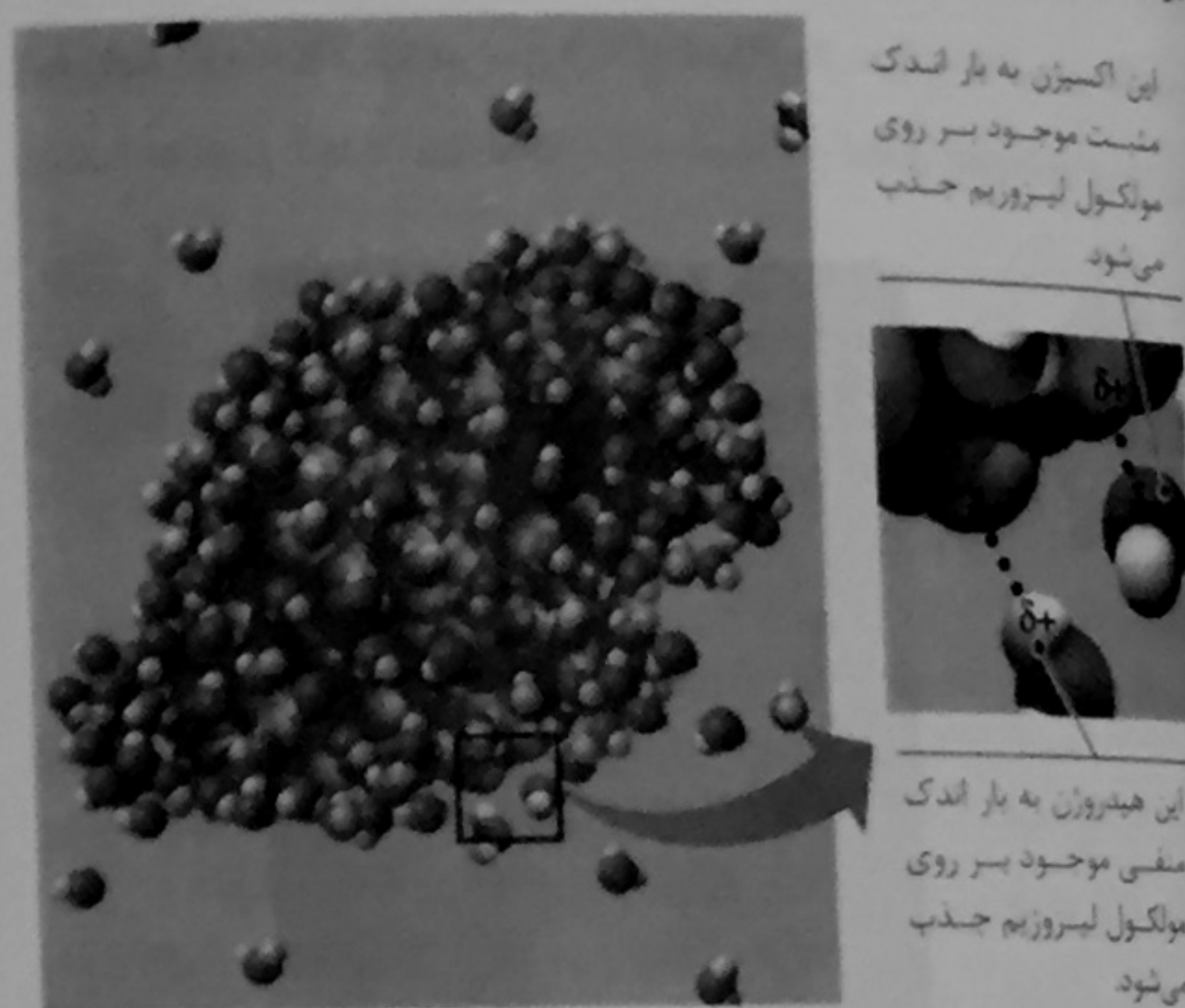
---
1 - Solution
2 - Solvent
3 - Solute
4 - Aquenus solution

دربرمی‌گیرد، **لایهٔ هیدراته**[1] گفته می‌شود. آب در نهایت همهٔ یون‌های موجود در لایه‌های درونی بلور نمک را حل می‌کند. درنتیجه، محلول همگنی از آب به‌عنوان حلال و یون‌های سدیم و کلر به‌عنوان مواد حل‌شونده به‌وجود می‌آید. دیگر ترکیبات یونی نیز در آب حل می‌شوند. برای مثال آب دریا، همانند سلول‌های زنده، دارای انواع بسیار زیادی از یون‌های حل‌شده است.

یک ترکیب برای حل شدن در آب نیازی به یونی بودن ندارد، ترکیبات ساخته‌شده از مولکول‌های قطبی غیریونی مانند شکر نیز در آب حل می‌شوند. چنین ترکیباتی هنگامی حل می‌شوند که مولکول‌های مادهٔ حل‌شدنی با مولکول‌های آب احاطه شده باشند. حتی مولکول‌هایی به بزرگی پروتئین‌ها می‌توانند در آب حل شوند به شرط اینکه در سطح خود دارای بخش‌های یونی و قطبی باشند (شکل ۸ - ۳). ترکیبات بسیار گوناگون قطبی، در آبِ مایعات زیستی مانند خون، شیرهٔ گیاهان و مایع درون سلول‌ها (همراه با یون‌ها) حل می‌شوند. آب حلّال حیات است.

### مولکول‌های آب‌گریز و آب‌دوست

به ترکیبات یونی یا قطبی و یا هر ماده‌ای که تمایل به آب دارد، **آب‌دوست**[2] گفته می‌شود (از کلمهٔ یونانی *hydro* به‌معنی آب و *philios* به معنی دوست‌داشتن گرفته شده است). در برخی حالات، مواد می‌توانند آب‌دوست باشند بدون اینکه عملاً در آب حل شوند. برای نمونه، برخی از ترکیبات درون سلول‌ها، مانند مولکول‌های




▲ **شکل ۸ - ۳ یک پروتئین محلول در آب.** این تصویر لیزوزیم انسانی را نشان می‌دهد، نوعی پروتئین که دارای اثر ضد باکتریایی است و در اشک و بزاق یافت می‌شود. این مدل، مولکول لیزوزیم (ارغوانی) را در یک محیط آبی نشان می‌دهد. نواحی قطبی و یونی روی سطح پروتئین، مولکول‌های آب را جذب می‌کنند.

بزرگ (یا مجموعه‌هایی از چند مولکول) نامحلول هستند، و از این رو در محیط آبی درون سلول معلق باقی می‌مانند. چنین مخلوطی نمونه‌ای از یک **کلوئید**[3] (سوسپانسیون پایداری از ذرات کوچک در یک مایع) است. پنبه، که نوعی فراوردهٔ گیاهی است، نمونه‌ای دیگر از مواد نامحلول می‌باشد. پنبه از مولکول‌های بسیار بزرگ سلولز ساخته شده است، که ترکیبی با نواحی بیشمار و دارای بارهای جزئی مثبت و منفی همراه با پیوندهای قطبی است. آب به رشته‌های سلولز می‌چسبد. به همین دلیل یک حوله از جنس پنبه در خشک کردن بدن بسیار خوب عمل می‌کند، اما هرگز در ماشین لباسشویی حل نمی‌شود. سلولز در دیوارهٔ سلول‌های عادی آب در گیاهان یافت می‌شود. قبلاً دربارهٔ چگونگی چسبیدن آب به دیوارهٔ آب‌دوست سلول‌ها و شیوهٔ انتقال آب در گیاهان بحث شد.

البته موادی هم هستند که تمایلی به آب ندارند. مواد غیریونی و غیرقطبی، آب را دفع می‌کنند؛ به این مواد **آب‌گریز**[4] گفته می‌شود (از کلمهٔ یونانی *phobos* به‌معنی ترسیدن). برای نمونه از موادی که در آشپزخانه یافت می‌شوند می‌توان یاد کرد، روغن گیاهی با موادی مانند سرکه، که ترکیب‌شان بر پایهٔ آب استوار است، قابل مخلوط کردن نیست. رفتار آب‌گریزانهٔ مولکول‌های روغن نتیجهٔ حضور پیوندهای نسبتاً غیرقطبی است. در این مورد پیوندهای میان کربن و هیدروژن که الکترون‌ها تقریباً به میزان یکسان به اشتراک گذاشته می‌شوند عامل اصلی است. مولکول‌های آب‌گریز خانوادهٔ چربی‌ها از بخش‌های اصلی غشاهای سلولی هستند. (تصور کنید اگر غشای سلولی حل می‌شد چه رخ می‌داد!)

### غلظت مادهٔ حل‌شدنی در محلول‌های آبی

شیمی زیستی، شیمی رطوبت است. بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که در جانداران صورت می‌گیرد وابسته به حل شدن یک مادهٔ حل‌شونده در آب است. برای شناخت واکنش‌های شیمیایی نیاز به دانستن چگونگی درگیر شدن اتم‌ها و مولکول‌ها هستیم. بنابراین آگاهی از چگونگی اندازه‌گیری غلظت مادهٔ حل شونده در یک محلول آبی (تعداد مولکول‌های مادهٔ حل شونده در حجم معینی از محلول) اهمیت دارد.

هنگام انجام آزمایش‌ها از جرم برای اندازه‌گیری تعداد مولکول‌ها استفاده می‌شود. جرم هر اتم در یک مولکول را می‌دانیم، بنابراین می‌توانیم **جرم مولکولی**[5] آن را اندازه‌گیری کنیم، که به‌سادگی عبارت

1 - Hydration shell
2 - Hydrophilic
3 - Colloid
4 - Hydrophobic
5 - Molecular mass

است از مجموع جرم همهٔ اتم‌هایی که در مولکول به‌کار رفته‌اند. برای مثال، جرم مولکولی شکر (ساکارز) با فرمول مولکولی $C_{12}H_{22}O_{11}$ را اندازه می‌گیریم. براساس اعداد گردشدهٔ دالتون، جرم هر اتم کربن، ۱۲، جرم هر اتم هیدروژن، ۱ و جرم هر اتم اکسیژن، ۱۶ است. بنابراین جرم مولکولی ساکارز ۳۴۲ دالتون خواهد بود. [(۱۲×۱۲) + (۲۲×۱) + (۱۱×۱۶) = ۳۴۲] البته وزن کردن تعداد اندکی از مولکول‌ها عملی نیست. به‌همین دلیل از واحدی به‌نام مول برای اندازه‌گیری مواد استفاده می‌کنیم. همان‌طور که یک دوجین به معنی ۱۲ عدد است، یک **مول (mol)** دقیقاً برابر $۶/۰۲×۱۰^{۲۳}$ عدد از هر چیز است که **عدد آووگادرو** نیز نامیده می‌شود. رابطهٔ میان عدد آووگادرو و واحد دالتون تعریف شده است، بدین گونه که هر گرم برابر $۶/۰۲×۱۰^{۲۳}$ دالتون است. اینکه هنگام تعیین جرم مولکولی یک مولکول مانند ساکارز می‌توانیم از همان عدد (۳۴۲) با واحد گرم استفاده کنیم تا جرم $۶/۰۲×۱۰^{۲۳}$ مولکول ساکارز یا یک مول ساکارز را نشان دهیم کاملاً معنی‌دار است (جرم $۶/۰۲×۱۰^{۲۳}$ مولکول از یک ماده گاهی اوقات **جرم مولی**[1] نامیده می‌شود). برای به‌دست آوردن یک مول ساکارز در آزمایشگاه ۳۴۲ گرم آن‌را وزن می‌کنیم.

مزیت عملی اندازه‌گیری مقدار مواد شیمیایی به‌صورت مول این است که تعداد مولکول‌های یک مول از یک ماده دقیقاً برابر تعداد مولکول‌های یک مول از هر مادهٔ دیگر است. اگر جرم مولکولی مادهٔ A، ۳۴۲ دالتون و جرم مولکولی مادهٔ B، ۱۰ دالتون باشد، آن‌گاه تعداد مولکول‌های ۳۴۲ گرم از مادهٔ A برابر تعداد مولکول‌های موجود در ۱۰ گرم از مادهٔ B است. یک مول الکل اتیلیک ($C_2H_6O$) نیز $۶/۰۲×۱۰^{۲۳}$ مولکول دارد، اما جرم آن تنها ۴۶ گرم است، زیرا جرم یک مولکول اتیل الکل کمتر از جرم یک مولکول ساکارز است. اندازه‌گیری به‌صورت مول، کارِ دانشمندان را در آزمایشگاه برای ترکیب مواد به یک نسبت معین، آسان کرده است.

چگونه می‌توانیم یک لیتر محلول، دارای یک مول ساکارز حل‌شده در آب، بسازیم؟ باید ابتدا ۳۴۲ گرم ساکارز را وزن کرده و کم‌کم به آن آب بیافزاییم، آن‌گاه به‌خوبی هم‌زده تا شکر کاملاً در آب حل شود. سپس به اندازهٔ کافی آب به محلول اضافه می‌کنیم تا حجم آن به یک لیتر برسد. در چنین حالتی محلول یک مولار ساکارز خواهیم داشت (1 M). **مولاریته**[2] (تعداد مول‌های یک مادهٔ حل‌شونده در یک لیتر محلول) واحدی برای اندازه‌گیری غلظت محلول‌های آبی است که بیش از دیگر واحدها توسط زیست‌شناسان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1 - Molar mass
2 - Molarity

## تکامل احتمالی حیات بر روی سایر سیارات با کمک آب

**تکامل** شاید انسان‌ها همیشه که به آسمان خیره شده‌اند، متعجب از اینکه آیا موجودات زندهٔ دیگری در ماورای زمین زندگی می‌کنند؟ و اگر حیات بر روی سایر سیارات به‌وجود آمده است، به چه شکل یا اشکالی تکامل یافته است؟ زیست‌شناسانی که در جای دیگری از جهان به‌دنبال حیات می‌گردند (*astrobiologists* نامیده می‌شوند) تحقیق‌شان را بر روی سیاراتی متمرکز کرده‌اند که احتمالاً دارای آب هستند. تا کنون بیش از ۲۰۰ سیاره در خارج از منظومهٔ شمسی کشف شده‌اند، که شواهدی دال بر وجود بخار آب بر سطح یک یا دو تا از آنها وجود دارد. در منظومهٔ شمسی خودمان، مطالعات بیشتر بر روی مریخ متمرکز بوده است.

مریخ مانند زمین در قطبین خود، دارای کلاهک یخی است. در دهه‌های پس از شروع کاوش‌های فضایی، دانشمندان علائم جالبی پیدا کرده‌اند دال بر اینکه آب می‌تواند در جایی بر سطح مریخ وجود داشته باشد. سرانجام در سال ۲۰۰۸، رباط فضانورد *Phoenix* بر سطح مریخ فرود آمد و شروع به نمونه‌گیری از سطح آن کرد. با کمک تصاویری که *Phoenix* فرستاد سال‌ها شک و تردید حل شد. یخ قطعاً درست در زیر سطح مریخ وجود دارد و بخار آب کافی برای یخبندان در اتمسفر مریخی نیز وجود دارد (شکل ۹-۳). این کشفیات هیجان‌انگیز به جستجو برای پیدا کردن نشانه‌های وجود حیات، در گذشته یا اکنون، بر روی مریخ یا سایر سیارات، روح دوباره‌ای بخشیده است. در صورتی که اشکالی از حیات یا فسیل یافت شوند، مطالعات آنها فرایند تکامل را از دیدگاه کاملاً جدیدی بررسی خواهد کرد.



▲ **شکل ۹-۳ یخ سطحی و یخبندان صبحگاهی بر روی مریخ.** این عکس در سال ۲۰۰۸ توسط *Phoenix* مریخ‌پیما گرفته شده است. این حفره توسط بازوی رباط تراشیده شد و یخ در زیر پوشش سطحی نمایان گشت (رنگ سفید در زاویهٔ راست نزدیک پایین شکل). یخبندان نیز به صورت پوشش سفیدرنگ در چند قسمت در نیمهٔ بالایی تصویر دیده می‌شود. این عکس برای وضوح بیشتر یخ، توسط ناسا رنگ‌آمیزی شد.

**بررسی مفاهیم ۳-۲**

۱. توضیح دهید چگونه ویژگی‌های آب به بالا رفتن آن در یک درخت کمک می‌کند.

۲. ضرب‌المثل عامیانه «گرما نیست، رطوبت است» را توضیح دهید.

۳. چگونه یخ زدن آب می‌تواند منجر به ترکیدن سنگ‌ها شود؟

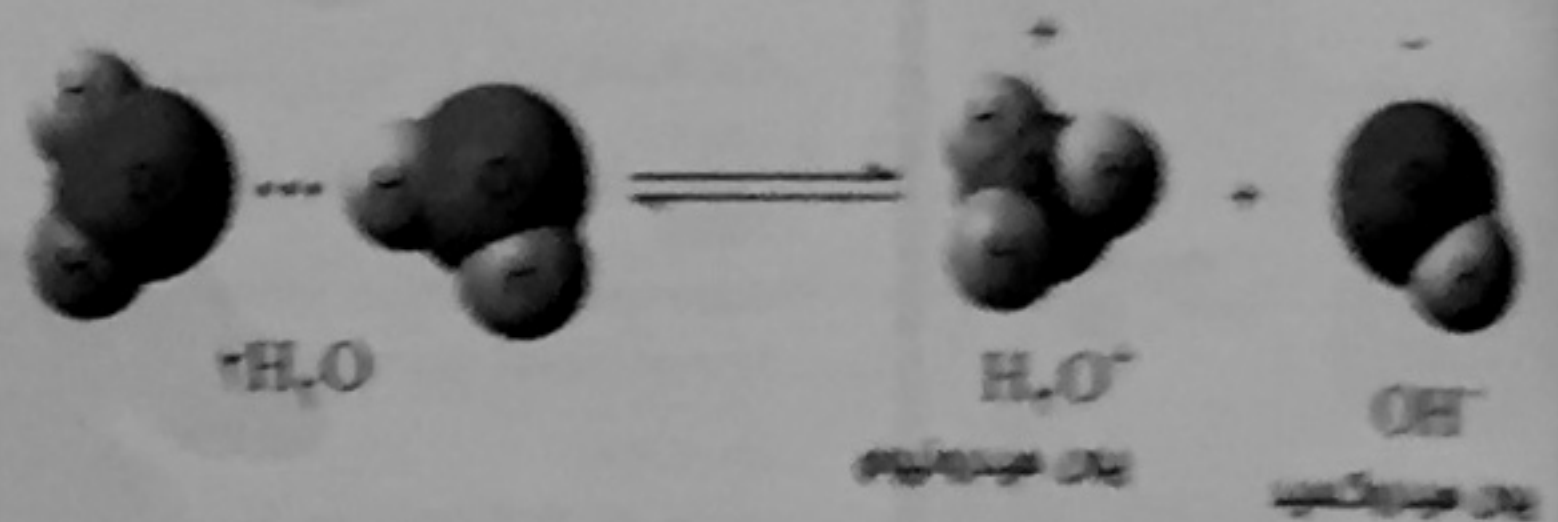
۴. غلظت هورمون تنظیم کننده اشتها ghrelin در شخص ناشتا حدود ۱/۳ × $۱۰^{-۱۰}$ مولار است. در یک لیتر از خون چند مولکول ghrelin وجود دارد؟

۵. **چه اگر؟** آب پیما (که می‌تواند بر سطح آب راه برود) پاهایی دارد که توسط ماده‌ای آب‌گریز پوشیده شده‌اند. فایده آن چه می‌تواند باشد؟ اگر آن ماده آب‌دوست بود، چه اتفاقی می‌افتاد؟

برای ملاحظه پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمه A مراجعه کنید.

## ۳-۳ شرایط اسیدی و بازی، جانداران را تحت تأثیر قرار می‌دهند

گاهی اتم هیدروژنی که در یک پیوند هیدروژنی بین دو مولکول آب به اشتراک گذاشته شده، از یک مولکول به مولکول دیگر انتقال می‌یابد. هنگامی که این اتفاق می‌افتد، اتم هیدروژن الکترون پیرامون خود را از دست می‌دهد و آن‌چه که عملاً جابه‌جا می‌شود **یون هیدروژن** است که تنها یک پروتون با یک بار مثبت دارد. مولکول آب که یک پروتون از دست داده حالا یک **یون هیدروکسید** ($OH^-$) است که یک بار منفی دارد. پروتون به دیگر مولکول آب چسبیده و یک **یون هیدرونیوم** ($H_3O^+$) را می‌سازد. می‌توانیم این واکنش شیمیایی را به‌شکل زیر نمایش دهیم:




با اینکه این واکنش، آن چیزی است که واقعاً رخ می‌دهد، واکنش فوق را می‌توان به‌صورت تجزیه یک مولکول آب به یک یون هیدروژن و یک یون هیدروکسید تصویر کرد.

فلش دوتایی نشان می‌دهد که این واکنش برگشت‌پذیر است و هنگامی به‌تعادل دینامیکی می‌رسد که سرعت تجزیه آب و سرعت تشکیل مجدد آب از $H^+$ و $OH^-$ باهم برابر شوند. در واقع در آب خالص، در هر ۵۵۴ میلیون مولکول آب، تنها یک مولکول تجزیه می‌شود. غلظت هر یک از یون‌ها در آب خالص (در $25^{\circ}C$)، $10^{-7}M$ است. این بدان معنی است که تنها یک ده میلیونیوم مول یون هیدروژن در هر لیتر آب خالص و به تعداد برابر آن یون هیدروکسید وجود دارد.

اگرچه تجزیه آب بازگشت‌پذیر و از نظر آماری نادر است ولی در شیمی حیات از اهمیت زیادی برخوردار است. یون هیدروژن و یون هیدروکسید به‌شدت آماده واکنش‌اند. تغییر در غلظت این یون‌ها می‌تواند اثرات جدی بر پروتئین‌ها و دیگر مولکول‌های پیچیده سلولی داشته باشد. همان‌گونه که دیدید، غلظت $H^+$ و $OH^-$ در آب خالص با هم برابر است اما افزودن مواد حل شدنی معین، که اسید و قلیا (باز) نامیده می‌شوند، این تعادل را به‌هم می‌زنند. زیست‌شناسان از مقیاسی به‌نام pH برای بیان اسیدی یا قلیایی بودن یک محلول بهره می‌برند. در بخش‌های باقی‌مانده این فصل در خصوص اسیدها، قلیاها و pH و نیز چگونگی تأثیر ویرانگر تغییرات pH بر جانداران خواهید آموخت.

### اسیدها و قلیاها (بازها)

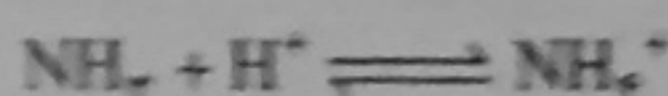
چه عاملی باعث می‌شود تا یک محلول آبی غلظت نابرابری از $H^+$ و $OH^-$ داشته باشد؟ هنگامی که موادی به‌نام اسید در آب حل می‌شوند $H^+$ را به محلول می‌افزایند. یک **اسید**[1]، بر پایه تعریفی که توسط بیشتر زیست‌شناسان استفاده می‌شود، ماده‌ای است که غلظت یون هیدروژن یک محلول را افزایش می‌دهد. برای مثال، هنگامی که اسید هیدروکلریک (HCl) به آب افزوده می‌شود، یون هیدروژن از یون کلرید جدا می‌شود:



$$HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$$

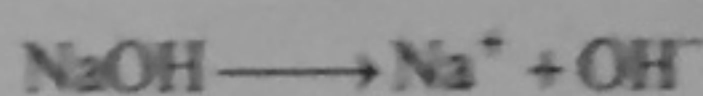
این منبع اضافی $H^+$ (تجزیه آب منبع دیگر آن است) باعث می‌شود تا محلول، $H^+$ بیشتری نسبت به $OH^-$ داشته باشد. چنین محلولی به‌عنوان یک **محلول اسیدی** شناخته می‌شود.

ماده‌ای که غلظت یون هیدروژن یک محلول را کاهش می‌دهد، **قلیا**[2] خوانده می‌شود. برخی از قلیاها مستقیماً با گرفتن یون هیدروژن، غلظت آن را کاهش می‌دهند. برای مثال، آمونیاک ($NH_3$) با جفت الکترون آزاد خود (به اشتراک نگذاشته خود) یک یون هیدروژن محلول را گرفته و به یون آمونیوم ($NH_4^+$) تبدیل می‌شود و به این ترتیب مانند یک قلیا عمل می‌کند:



$$NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+$$

سایر قلیاها غلظت $H^+$ را به‌طور غیرمستقیم و با تجزیه شدن به یون هیدروکسید کاهش می‌دهند، به‌گونه‌ای که یون هیدروکسید با یون هیدروژن ترکیب شده و در محلول، آب تشکیل می‌شود. یکی از انواع بازهایی که به این روش عمل می‌کند هیدروکسید سدیم (NaOH) است که در آب به یون‌های خود تجزیه می‌شود:



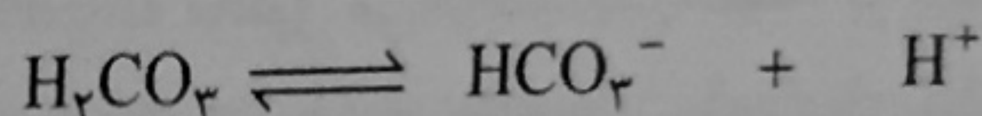
$$NaOH \longrightarrow Na^+ + OH^-$$

---
1 - Acid
2 - Base

در هر دو حالت، قلیا غلظت یون هیدروژن را کاهش می‌دهد. محلولی با غلظت بالاتر $OH^-$ نسبت به $H^+$، به‌عنوان یک **محلول قلیایی** شناخته می‌شود. محلولی که در آن غلظت $OH^-$ و $H^+$ برابر باشد، **محلول خنثی** نامیده می‌شود.

توجه داشته باشید که فلش یک‌سویه در واکنش‌های HCl و NaOH به‌کار رفته است. این ترکیبات هنگامی‌که با آب مخلوط می‌شوند به‌طور کامل تجزیه می‌شوند، به همین دلیل به اسید هیدروکلریک، یک اسید قوی و به هیدروکسید سدیم، یک قلیای قوی گفته می‌شود. در مقابل، آمونیاک یک باز نسبتاً ضعیف است. فلش‌های دوسویهٔ به‌کار رفته در واکنش آمونیاک، نشان‌دهندهٔ این است که اتصال و آزاد شدن یون هیدروژن یک واکنش برگشت‌پذیر است، اگرچه در حالت تعادل نسبت $NH_4^+$ به $NH_3$ نسبت پایداری خواهد بود.

همچنین اسیدهای ضعیفی هم هستند که به‌صورت برگشت‌پذیر یون‌های هیدروژن را آزاد می‌کنند:



$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

کربنیک اسید — یون بی‌کربنات — یون هیدروژن

در این حالت، واکنش تمایل به‌سوی چپ دارد. هنگامی‌که اسید کربنیک به آب افزوده می‌شود، تنها یک درصد مولکول‌های اسید در زمان معین تجزیه می‌شوند. همین اندازه برای تغییر تعادل بین $H^+$ و $OH^-$ از حالت خنثی کافی است.

## مقیاس pH

در بسیاری از محلول‌های آبی در دمای $25°C$، حاصل ضرب غلظت $H^+$ و $OH^-$ ثابت و برابر $10^{-14}$ است که می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود:

$$[H^+][OH^-]=10^{-14}$$

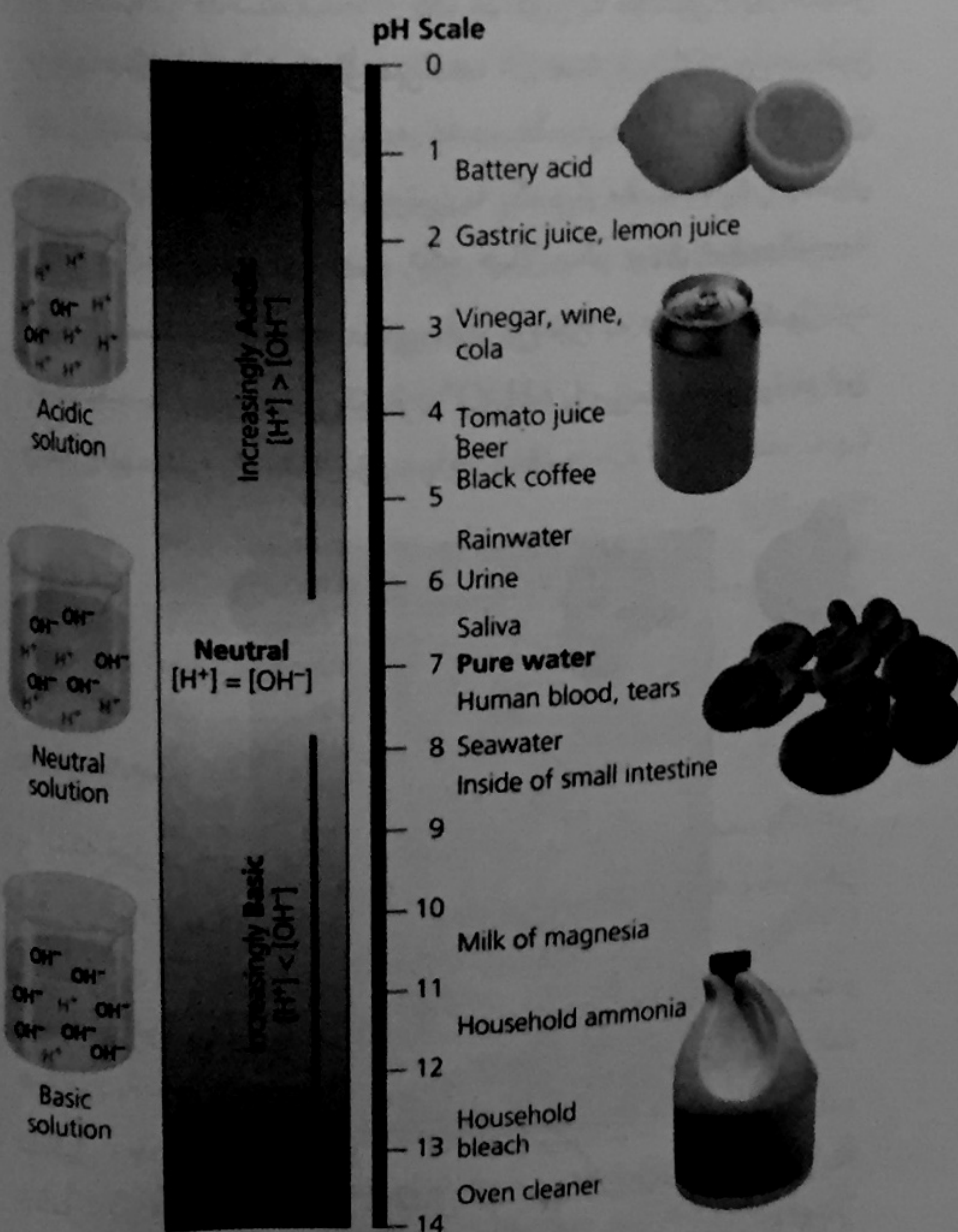
در چنین معادله‌ای، کروشه‌ها نشان‌دهندهٔ غلظت مولی ماده‌ای هستند که درون آنها نوشته شده است. در یک محلول خنثی در دمای اتاق ($25°C$)، $[H^+]=10^{-7}$ و $[OH^-]=10^{-7}$ است، بنابراین در این حالت غلظت فرآورده‌ها $10^{-14}$ است. اگر به‌اندازهٔ کافی اسید به محلول افزوده شود، $[H^+]$ به $10^{-5}$ M افزایش می‌یابد، آن‌گاه مقدار $[OH^-]$ به $10^{-9}$ کاهش خواهد یافت (توجه کنید که $10^{-14}=10^{-9}\times10^{-5}$). این رابطهٔ ثابت بیان‌کنندهٔ رفتار اسیدی یا بازی یک محلول آبی است. یک اسید نه‌تنها یون هیدروژن را به محلول می‌افزاید بلکه یون هیدروکسید را هم به‌دلیل تمایل $H^+$ برای ترکیب با $OH^-$ و تشکیل آب، کاهش می‌دهد. برعکس، قلیاها اثرات کاملاً متضادی دارند، غلظت $OH^-$ را افزایش داده و همچنین غلظت $H^+$ را با تشکیل آب، کاهش می‌دهند اگر به‌اندازهٔ کافی قلیا افزوده شود تا غلظت $OH^-$ به $10^{-4}$ M افزایش یابد، موجب کاهش غلظت $H^+$ به $10^{-10}$ M خواهد شد. هرگاه غلظت یکی از یون‌های $H^+$ یا $OH^-$ را در یک محلول آبی بدانیم، می‌توانیم غلظت یون دیگر را محاسبه کنیم.

چون غلظت $H^+$ و $OH^-$ یک محلول می‌تواند با فاکتوری از ۱۰۰ تریلیون یا بیشتر تغییر کند، دانشمندان راهی بسیار ساده‌تر را نسبت به معیار مول در لیتر برای بیان این گوناگونی بنا کرده‌اند (**شکل ۱۰-۳**). مقیاس pH، غلظت $H^+$ و $OH^-$ است که با لگاریتم فشرده شده است. **pH** یک محلول به‌صورت زیر بیان می‌شود؛ منهای لگاریتم (برمبنای ۱۰) غلظت یون هیدروژن.

$$pH=-\log[H^+]$$

برای یک محلول آبی خنثی، $[H^+]$ $10^{-7}$ مولار است، درنتیجه:

$$pH=-\log10^{-7}=-(-7)=7$$




▲ **شکل ۱۰-۳ مقیاس pH و مقادیر pH در برخی از محلول‌های آبی.**

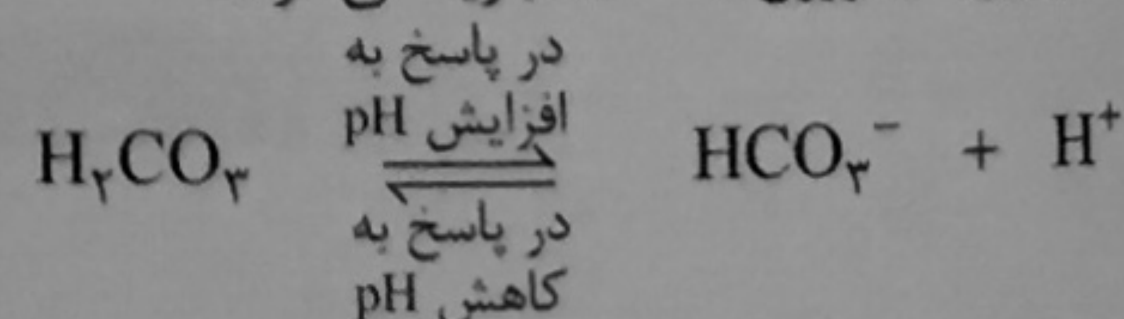
توجه داشته باشید که pH با افزایش غلظت $H^+$ کاهش می‌یابد و همچنین اگرچه مقیاس pH بر پایهٔ غلظت $H^+$ پایه‌ریزی شده است، از آن برای بیان غلظت $OH^-$ نیز استفاده می‌شود. در محلولی با pH = ۱۰، غلظت $H^+$ برابر $10^{-10}$ M و غلظت $OH^-$، $10^{-4}$ M است.

pH یک محلول آبی خنثی در ۲۵°C، ۷ است (نقطهٔ میانی مقیاس). مقدار pH کمتر از ۷ بیانگر اسیدی بودن محلول است. هرچه این عدد پایین‌تر باشد، محلول اسیدی‌تر خواهد بود. pH برای محلول‌های بازی، بالای ۷ است. pH بیشتر مایعات زیستی در فاصلهٔ ۸-۶ است. البته استثناهایی هم وجود دارد؛ مانند شیرهٔ گوارشی و اسیدی معدهٔ انسان که pH آن نزدیک ۲ است.

به‌یاد داشته باشید که هر واحد pH، اختلاف ده برابری را در غلظت $H^+$ و $OH^-$ بیان می‌کند. این روش ریاضی، مقیاس pH را فشرده‌تر می‌کند. توان اسیدی محلولی با pH=۳، دوبرابر محلولی با pH=۶ نیست، بلکه هزار بار اسیدی‌تر است. هنگامی‌که pH یک محلول به آرامی تغییر می‌کند، به‌دنبال آن غلظت واقعی $H^+$ و $OH^-$ در محلول دچار تغییر می‌شود.

**بافرها**

pH درونی بیشتر سلول‌های زنده نزدیک به ۷ است. حتی کوچک‌ترین تغییر در pH می‌تواند زیان‌آور باشد، زیرا واکنش‌های شیمیایی سلول به غلظت یون‌های هیدروژن و هیدروکسید بسیار حساس‌اند. وجود بافرها در مایعات زیستی باعث پایداری pH آنها با وجود افزودن اسیدها یا قلیاها می‌شود. **بافرها**[1] موادی هستند که تغییر در غلظت $H^+$ و $OH^-$ یک محلول را به‌حداقل می‌رسانند. برای مثال، بافرها معمولاً pH خون انسان را نزدیک ۷/۴ که کمی قلیایی است نگه می‌دارند. چنانچه pH خون فرد از ۷ کمتر شود و یا به بالای ۷/۸ برسد، بیش از چند دقیقه زنده نخواهد ماند. در شرایط طبیعی، گنجایش بافری خون از بروز چنین نوساناتی در pH جلوگیری می‌کند. بافرها هنگامی‌که $H^+$ در محلول افزایش می‌یابد، با جذب یون هیدروژن، و هنگامی‌که $H^+$ کاهش می‌یابد، با افزودن یون هیدروژن به محلول، کار خود را انجام می‌دهند. بیشتر محلول‌های بافری از یک اسید ضعیف و قلیای مربوط به آن ساخته شده‌اند که به‌صورت برگشت‌پذیر با یون هیدروژن ترکیب می‌شوند. چندین بافر به پایداری pH خون و دیگر مایعات زیستی بدن انسان کمک می‌کنند. یکی از این بافرها که پیش‌تر به آن اشاره شد، اسید کربنیک ($H_2CO_3$) است که به فرآورده‌هایی چون یون بی‌کربنات ($HCO_3^-$) و یون هیدروژن ($H^+$) تجزیه می‌شود:




$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

1 - Buffers

تعادل شیمیایی بین اسید کربنیک و بی‌کربنات به‌صورت یک تنظیم‌کنندهٔ pH عمل می‌کند. هنگامی‌که دیگر واکنش‌ها باعث می‌شوند که یون‌های هیدروژن به محیط افزوده و یا از آن گرفته شوند واکنش به‌سوی چپ یا راست تمایل پیدا می‌کند. اگر غلظت $H^+$ در خون شروع به کاهش کند (در این حالت pH افزایش می‌یابد)، واکنش به‌سوی راست پیش می‌رود و اسیدکربنیک بیش‌تری تجزیه می‌شود تا یون‌های هیدروژن تولید شوند. اما وقتی غلظت $H^+$ در خون شروع به افزایش می‌کند (وقتی pH کاهش می‌یابد) واکنش به سوی چپ پیش می‌رود و $HCO_3^-$ (قلیا) یون هیدروژن اضافی را از محلول جذب می‌کند تا $H_2CO_3$ تشکیل شود. بنابراین دستگاه بافری *اسید کربنیک - بی‌کربنات* از یک اسید و یک قلیا که در حال تعادل با یکدیگر هستند تشکیل شده است. بیشتر بافرهای دیگر نیز از یک جفت اسید و باز تشکیل شده‌اند.

## اسیدی شدن: تهدیدی برای کیفیت آب

احتراق سوخت‌های فسیلی یکی از فعالیت‌های متعدد انسانی است که کیفیت آب را تهدید می‌کند، زیرا ترکیبات گازی را به درون فضا رها می‌کند. زمانی که بعضی از این ترکیبات با آب واکنش می‌دهند، آب اسیدی‌تر شده و تعادل شرایط حیات بر روی زمین تغییر می‌کند.

دی‌اکسید کربن محصول اصلی احتراق سوخت‌های فسیلی است. حدود ۲۵٪ از $CO_2$ تولید شده توسط انسان جذب اقیانوس‌ها می‌شود. با وجود حجم بسیار زیاد آب اقیانوس‌ها، دانشمندان نگران هستند که این جذب بالای $CO_2$ به اکوسیستم‌های دریایی آسیب برساند.

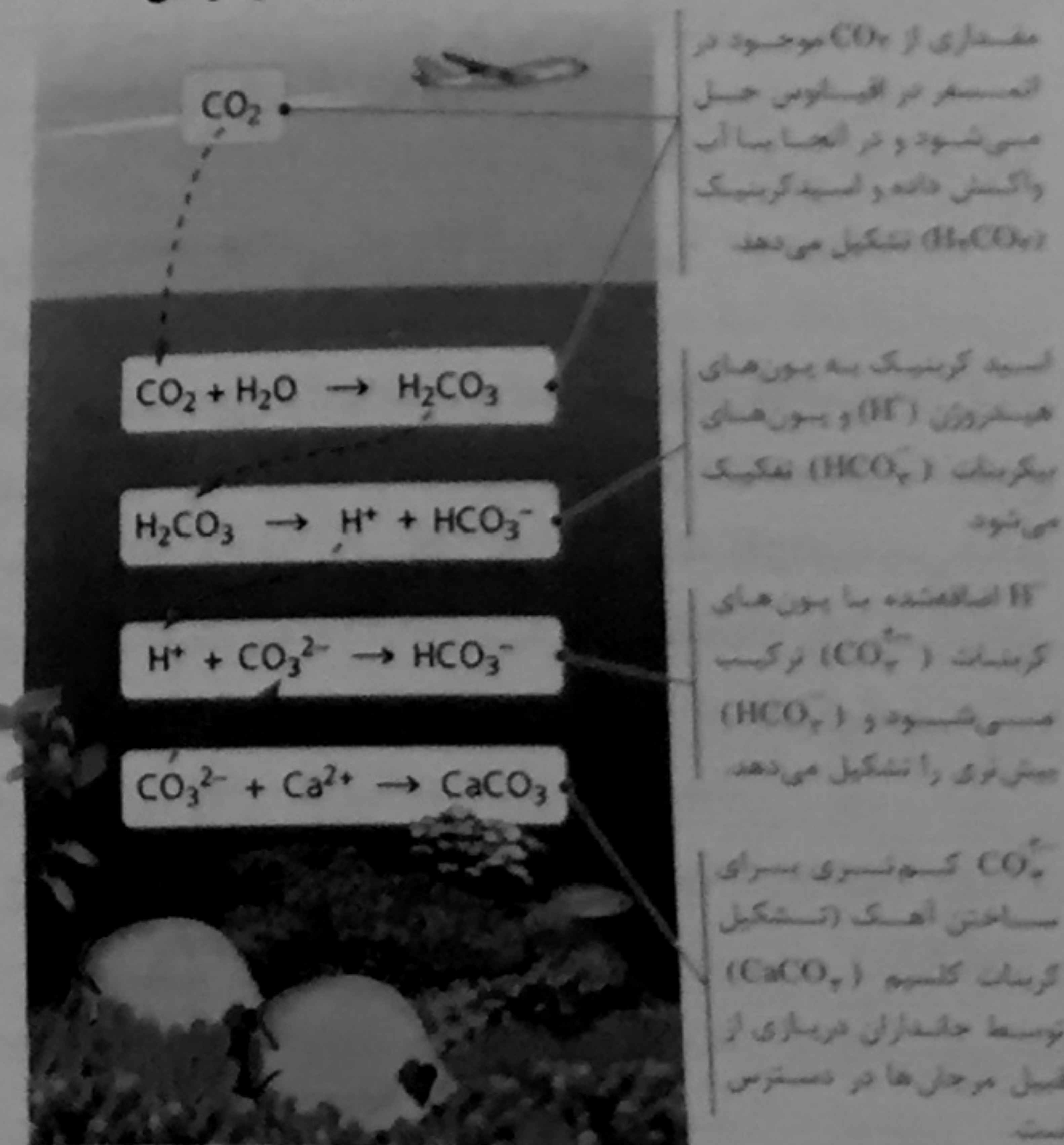
داده‌های اخیر نشان داده‌اند که چنین اتفاقات نگران‌کننده‌ای به وقوع پیوسته‌اند. هنگامی که $CO_2$ در آب دریا حل می‌شود، با آب واکنش داده و اسید کربنیک را به‌وجود می‌آورد که pH اقیانوس را کاهش می‌دهد. این فرایند **اسیدی شدن اقیانوس‌ها** نامیده می‌شود. دانشمندان با توجه به مقدار $CO_2$ موجود در حباب‌های محبوس در یخ در طول هزاران سال، تخمین می‌زنند که pH اقیانوس‌ها در حال حاضر نسبت به ۴۲۰،۰۰۰ سال گذشته ۰/۱ واحد، کاهش یافته است. مطالعات اخیر پیش‌بینی می‌کنند که pH اقیانوس‌ها تا پایان این قرن ۰/۳ — ۰/۵ واحد، کمتر خواهد شد.

به دلیل اسیدی شدن آب دریا، یون‌های اضافی هیدروژن با یون‌های کربنات ($CO_3^{2-}$) ترکیب شده و یون‌های بی‌کربنات ($HCO_3^-$) را به‌وجود می‌آورند، در نتیجه غلظت کربنات کاهش می‌یابد (**شکل ۱۱-۳**). دانشمندان پیش‌بینی می‌کنند که اسیدی شدن اقیانوس‌ها باعث خواهد شد غلظت بی‌کربنات تا سال ۲۱۰۰ حدود ۴۰٪ کاهش پیدا کند. این رویداد اهمیت بسیاری دارد، زیرا کربنات

برای آهکی شدن یا تولید کربنات کلسیم ($CaCO_3$) لازم است. کربنات کلسیم توسط بسیاری از موجودات آبزی، از جمله مرجان‌های تپه‌ساز و حیوانات صدف‌ساز، ساخته می‌شود. تپه‌های مرجانی اکوسیستم‌های حساسی هستند که پناهگاه انواع بسیاری از موجودات آبزی می‌باشند (شکل ۱۲-۳).

احتراق سوخت‌های فسیلی منبع عمدهٔ اکسیدهای سولفور و اکسیدهای نیتروژن نیز می‌باشد. این ترکیبات در هوا با آب ترکیب شده و اسیدهای قوی را می‌سازند، که با برف و باران به زمین فرود می‌آیند. **بارش اسیدی** به باران، برف، یا مه با pH کمتر (اسیدی‌تر) از ۵/۲ گفته می‌شود. (pH باران تمیز حدود ۵/۶ است که به دلیل تشکیل اسید کربنیک از $CO_2$ و آب، کمی اسیدی است.) باران اسیدی می‌تواند به حیات موجودات در دریاچه‌ها و نهرها آسیب رسانده و با تغییر شیمی خاک تأثیر شدیدی بر گیاهان ساکن خشکی بگذارد. برای حل این مشکل، کنگرهٔ ایالات متحده امریکا قانون هوای پاک را در سال ۱۹۹۰ اصلاح کرد و پیشرفت‌های اجباری در فناوری‌های صنعتی باعث شد، سلامت اغلب دریاچه‌ها و جنگل‌های آمریکای شمالی افزایش زیادی پیدا کند.

اگر دلیلی برای خوش‌بین بودن در مورد کیفیت آیندهٔ منابع آب سیاره‌مان وجود داشته باشد، آن دلیل این است که دانش ما از تعادل ظریف شیمیایی موجود در اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها و رودها افزایش یافته است. ادامهٔ پیشرفت تنها حاصل فعالیت‌های افراد آگاهی، چون خود شما، است که نگران کیفیت محیط زندگی خود هستند. لازمهٔ رسیدن به این هدف، درک نقش اساسی آب در مناسب کردن محیط، برای ادامهٔ حیات بر روی کرهٔ زمین است.



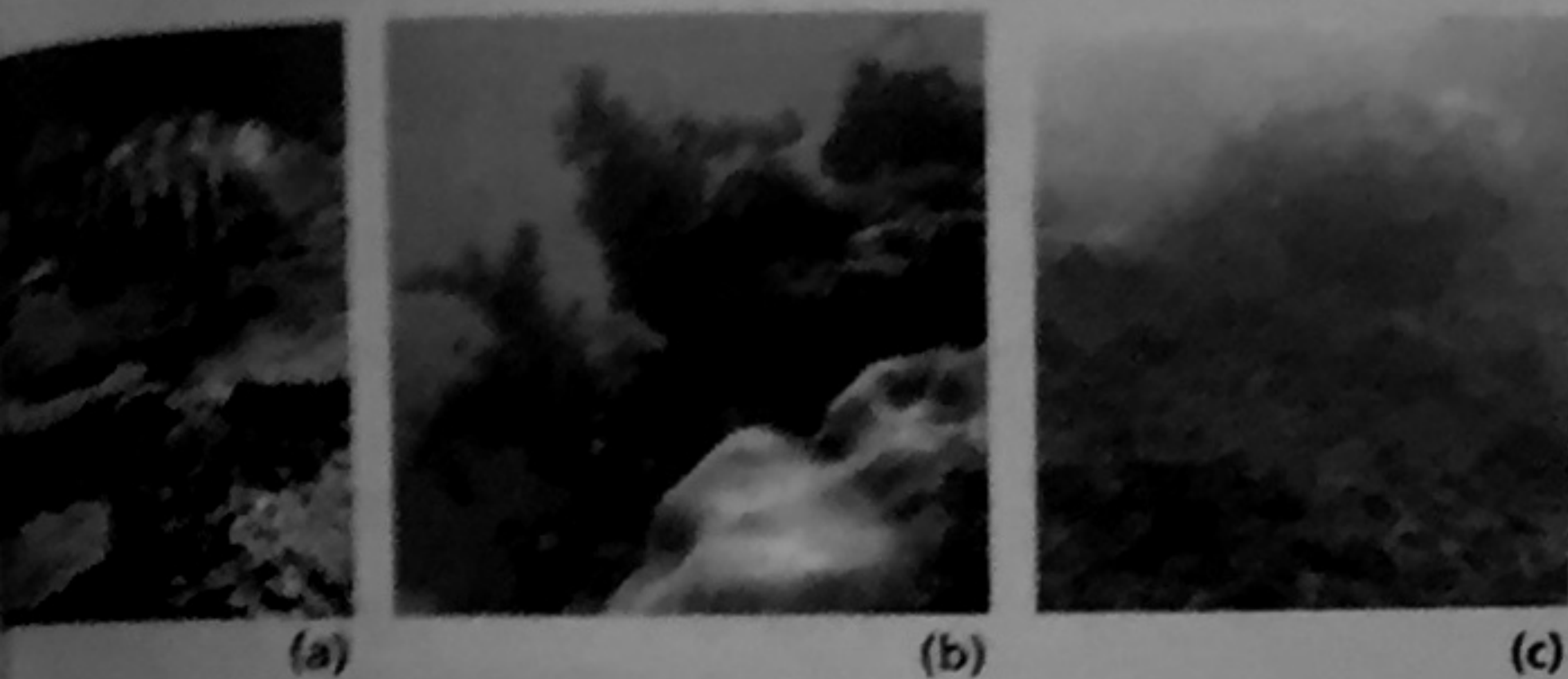

▲ شکل ۱۱-۳ $CO_2$ اتمسفری حاصل از فعالیت‌های انسانی و سرنوشت آن در اقیانوس.

▼ شکل ۱۲-۳ **پژوهش**

## خطر اسیدی شدن اقیانوس برای اکوسیستم‌های تپه‌های مرجانی

*اخیراً دانشمندان دربارهٔ آثار اسیدی شدن اقیانوس‌ها هشدار داده‌اند، فرایندی که طی آن اقیانوس‌ها به دلیل افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن اتمسفر، اسیدی‌تر می‌شوند (شکل ۱۱-۳ را ببینید). آنها پیش‌بینی می‌کنند که کاهش غلظت یون‌های کربنات ($CO_3^{2-}$) عوارض جدی بر روی آهکی شدن تپه‌های مرجانی خواهد داشت. با توجه به تحقیقات بسیار، و نیز با در نظر گرفتن اثرات گرم شدن اقیانوس‌ها گروهی از دانشمندان در طی این قرن سه سناریو برای تپه‌های مرجانی تعریف کرده‌اند، بسته به اینکه آیا غلظت $CO_2$ اتمسفر (a) در سطح کنونی باقی می‌ماند، (b) با سرعت اخیر افزایش می‌یابد، یا (c) با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. تصاویر پایین تپه‌های مرجانی را، تحت این سناریوهای پیش‌بینی‌شده نشان می‌دهند.*

*تپهٔ مرجانی سالم در شکل (a) انواع بسیاری از گونه‌ها را حمایت می‌کند و شباهت کمی با تپهٔ مرجانی آسیب‌دیده در شکل (c) دارد.*




**چرا این موضوع اهمیت دارد** حذف اکوسیستم تپه‌های مرجانی باعث از دست رفتن تنوع زیستی غم‌انگیزی می‌شود. به‌علاوه، تپه‌های مرجانی ساحل را حفظ می‌کنند، مکانی را برای تغذیهٔ بسیاری از گونه‌های شیلات تجاری فراهم می‌سازند و سبب جذب جهانگردان می‌شوند. بنابراین جوامع انسانی ساحلی از آسیب بیشتر امواج، افت شیلات و کاهش صنعت گردشگری زیان می‌بینند.

منبع:
O. Hoegh-Guldberg et al., Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification, *Science* 318:1737–1742 (2007). S. C. Doney, The dangers of ocean acidification, *Scientific American*, March 2006, 58–65.

**چه می‌شد اگر؟** آیا کاهش غلظت کربنات اقیانوس‌ها، بر روی موجوداتی که $CaCO_3$ نمی‌سازند، تأثیری دارد؟ حتی به‌طور غیر مستقیم. توضیح دهید.

## پرسش‌های مبحث ۳-۳

۱- تعداد یون‌های هیدروژن ($H^+$) در محلولی با pH=۴ ...... برابر تعداد یون‌های هیدروژن در محلولی با حجم برابر و pH=۹ است.

۲- HCl اسیدی قوی است که در آب تجزیه می‌شود:

$$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$$

pH محلول ۰/۰۱ مولار HCl چقدر است؟

۳- اسید استیک ($CH_3COOH$) مانند اسید کربنیک می‌تواند یک بافر باشد. واکنش تجزیه را بنویسید، اسید، باز، گیرندهٔ $H^+$ و دهندهٔ $H^+$ را تعیین کنید.

۴- **چه می‌شد اگر؟** اگر ۰/۰۱ مول از یک اسید قوی را به یک لیتر آب خالص و یک لیتر محلول اسید استیک بیفزایید، pH چه تغییری می‌کند؟ با استفاده از معادلهٔ واکنش در سؤال ۳ نتیجه را توضیح دهید.

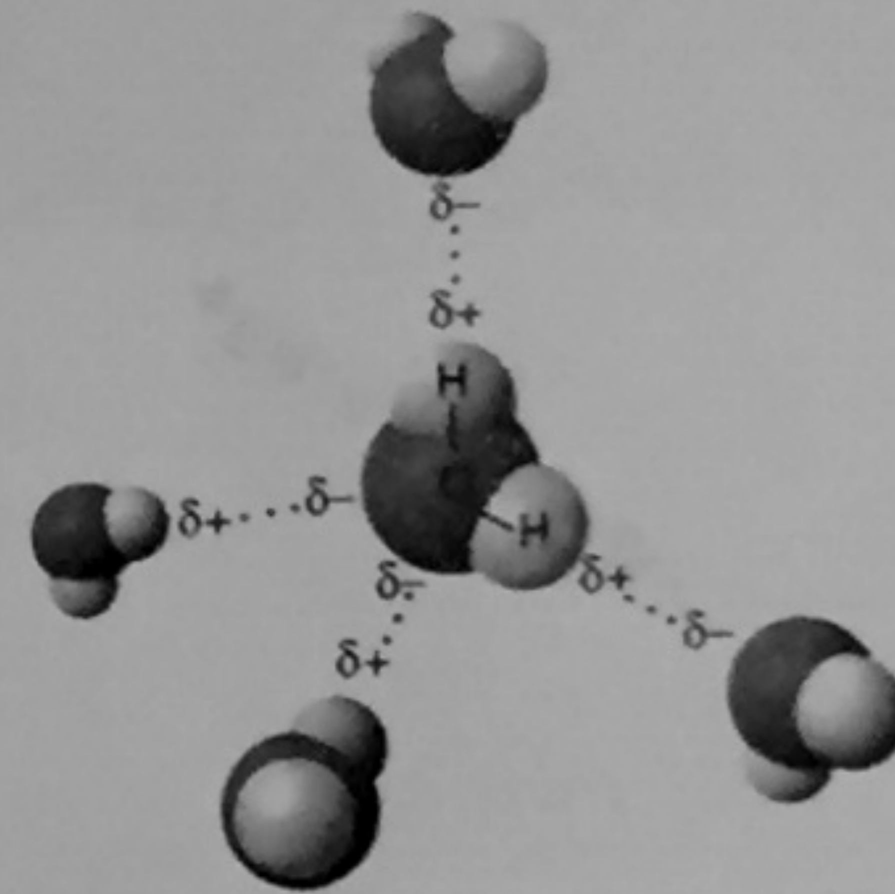
برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.

# 3 مرور فصل

## خلاصه مفاهیم کلیدی

### ۳-۱ پیوندهای کووالان قطبی در مولکول‌های آب، موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی می‌شوند

○ یک پیوند هیدروژنی هنگامی به‌وجود می‌آید که اکسیژن یک مولکول آب به کمک بار الکتریکی خود به‌سوی هیدروژن مولکول کناری خود جذب می‌شود. تشکیل پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب، پایهٔ ویژگی‌های غیرطبیعی آب است.

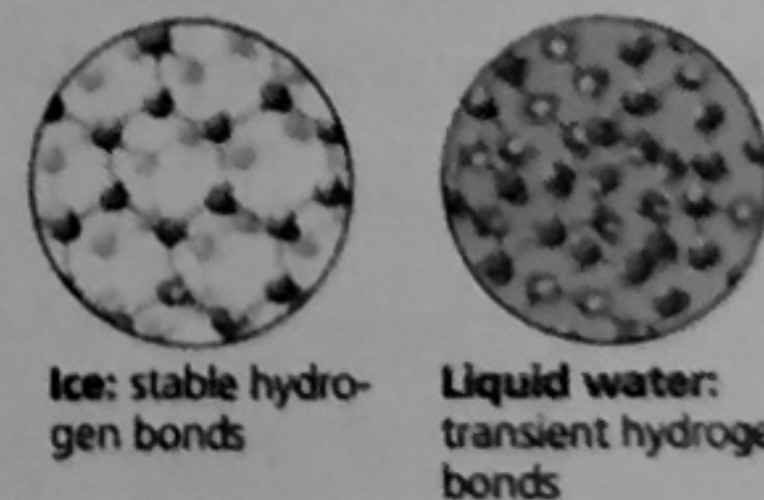



**رسم کنید** یک پیوند هیدروژنی و یک پیوند کووالانسی قطبی را در این شکل مشخص کنید. هر مولکول آب چه تعداد پیوند هیدروژنی می‌تواند ایجاد کند؟

### ۳-۲ چهار ویژگی بارز آب، زمین را برای استقرار حیات مناسب ساخته است

○ پیوندهای هیدروژنی، مولکول‌های آب را در کنار یکدیگر نگه می‌دارند. این **چسبندگی** به بالا رفتن مولکول‌های آب از سلول‌های میکروسکوپی هادی آب در گیاهان کمک می‌کند. همچنین پیوندهای هیدروژنی مسئول **کشش سطحی** آب هستند.

○ پیوندهای هیدروژنی، **گرمای ویژهٔ** بالایی را به آب می‌دهند. هنگامی‌که پیوندهای هیدروژنی شکسته می‌شوند




گرما جذب می‌شود و هنگامی‌که پیوندها تشکیل می‌شوند گرما آزاد می‌شود. کمک به کاهش نوسانات دمایی در یک محدوده، وجود حیات را ممکن می‌سازد. **خنک شدن از راه تبخیر** نیز بر پایهٔ گرمای بالای تبخیر آب استوار است. برای شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی، مولکول‌های آب بایستی انرژی جنبشی نسبتاً بالایی داشته باشند. تبخیر باعث از دست رفتن انرژی مولکول‌های آب شده و این امر باعث سرد شدن سطوح می‌گردد.

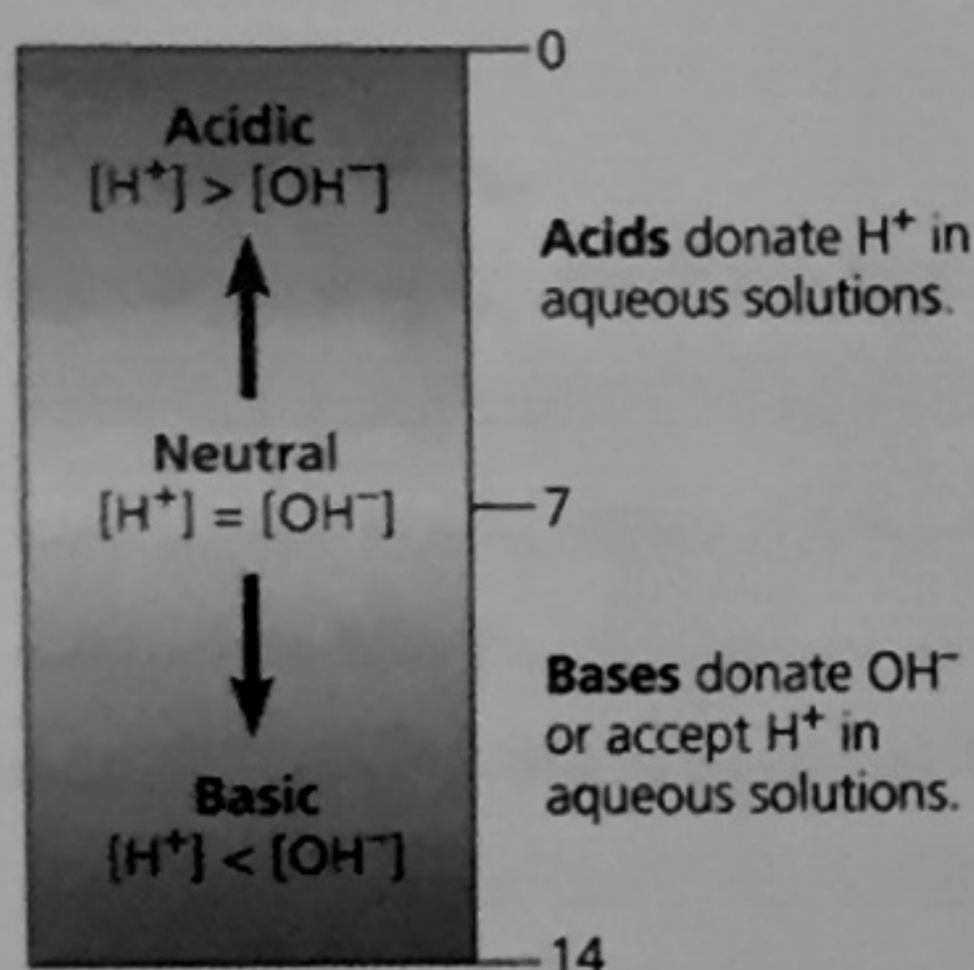
○ آب یک **حلال** غیرمعمول چندمنظوره است، زیرا مولکول‌های قطبی آن مواد قطبی و باردار را به‌خود جذب می‌کنند. مواد **آب‌دوست** به آب گرایش دارند و مواد **آب‌گریز** گرایشی به آب از خود نشان نمی‌دهند. **مولاریته** عبارت است از تعداد مول‌های **مادهٔ حل‌شدنی** در هر لیتر از **محلول**، که برای اندازه‌گیری غلظت مادهٔ حل‌شدنی در محلول به‌کار می‌رود. یک **مول** تعداد معینی از مولکول‌های یک ماده را در برمی‌گیرد. جرم یک مول از ماده بر حسب گرم برابر **جرم مولکولی** آن برحسب دالتون است.

○ خواص آب حیات را بر روی زمین ممکن می‌سازد و ممکن است موجب به‌وجود آمدن حیات، بر روی سایر سیارات شود.

**؟** **توضیح دهید که انواع مختلف حل‌شونده‌ها، چگونه در آب حل می‌شوند. تفاوت بین محلول و کلوئید را توضیح دهید.**

### ۳-۳ شرایط اسیدی و بازی، جانداران را تحت تأثیر قرار می‌دهد

○ یک مولکول آب می‌تواند یک $H^+$ را به مولکول آب دیگری انتقال دهد تا $H_3O^+$ و $OH^-$ را تشکیل دهد.




○ غلظت $H^+$ به‌صورت **pH** بیان می‌شود؛ $pH = -\log[H^+]$.

**بافرها** در مایعات زیستی در مقابل تغییرات pH مقاومت می‌کنند. یک بافر از یک اسید و باز تشکیل شده که به‌صورت قابل برگشتی با یون‌های هیدروژن ترکیب می‌شوند.

○ احتراق سوخت‌های فسیلی مقدار $CO_2$ موجود در اتمسفر را افزایش می‌دهد. مقداری از $CO_2$ در اقیانوس‌ها حل شده و سبب **اسیدی شدن اقیانوس‌ها** می‌شود که می‌تواند اثرات مهمی بر روی تپه‌های مرجانی داشته باشد. احتراق سوخت‌های فسیلی اکسیدهای سولفور و نیتروژن را نیز آزاد می‌کند و منجر به **بارش اسیدی** می‌شود.

**؟** **توضیح دهید که افزایش مقادیر $CO_2$ محلول در اقیانوس‌ها چگونه باعث اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌شود. این تغییر pH چگونه بر روی غلظت یون کربنات و سرعت آهکی شدن تأثیر می‌گذارد؟**

## خود را بیازمایید

**www.masteringbiology.com** با مراجعه به سایت به سؤالات چند گزینه‌ای ۱ تا ۸ پاسخ دهید.

۹- **رسم کنید** هنگامی که کلرید پتاسیم (KCl) در آب حل می‌شود، لایه‌های هیدراته‌ای که اطراف یون‌های پتاسیم و کلر تشکیل می‌شوند را رسم کنید. بارهای مثبت، منفی و جزیی را بر روی این اتم‌ها نشان دهید.

۱۰- **ارتباط دهید** گرم شدن جهانی (فصل ۱ را ببینید) و اسیدی شدن اقیانوس‌ها چه اشتراکی دارند؟

۱۱- در نواحی کشاورزی، کشاورزان به پیش‌بینی وضع هوا توجه زیادی می‌کنند. کشاورزان درست قبل از یخبندان شبانه پیش‌بینی شده، آب را بر روی محصولات می‌پاشند تا از گیاهان حفاظت کنند. با استفاده از ویژگی‌های آب توضیح دهید این روش چگونه عمل می‌کند. حتماً ذکر کنید که چرا پیوندهای هیدروژنی مسئول این پدیده هستند.

### ۱۲- ارتباط تکاملی

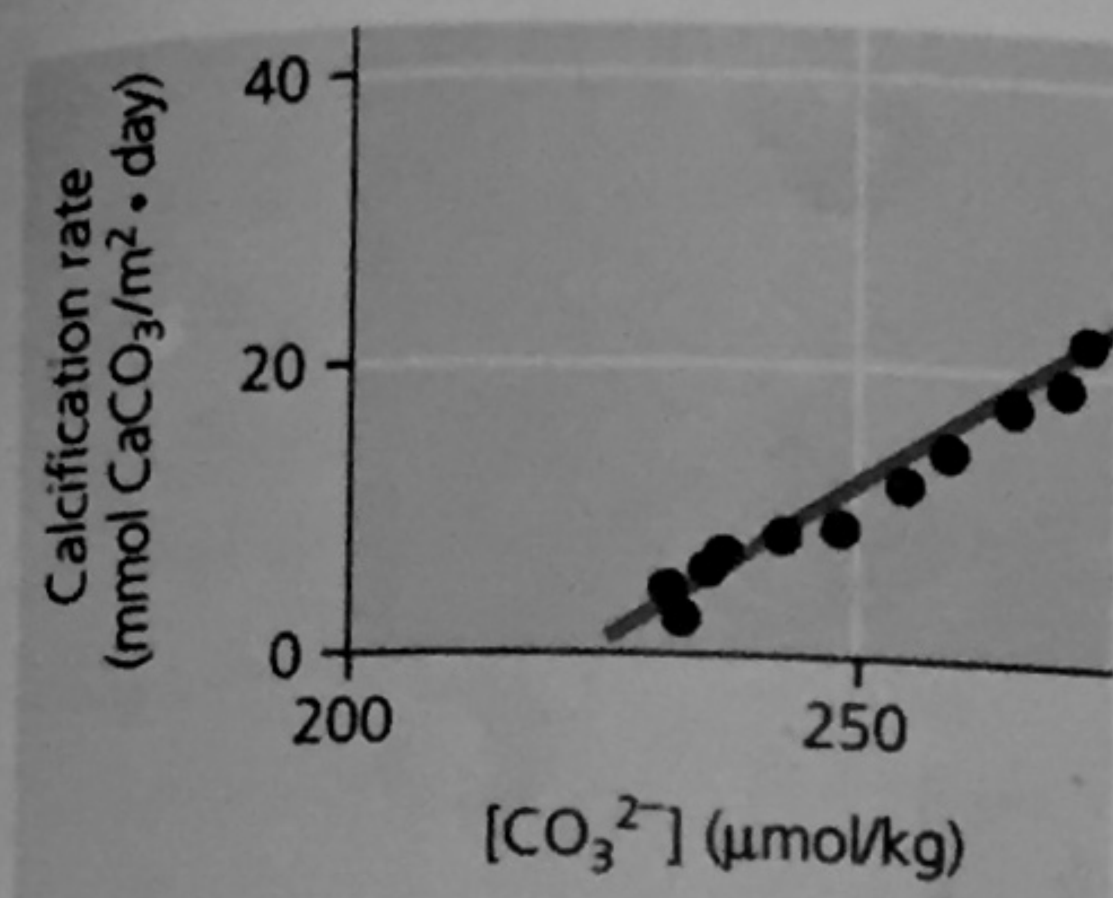
این فصل توضیح می‌دهد که چگونه خواص آب، محیط را برای حیات مناسب می‌کنند. قبل از این، دانشمندان تصور می‌کردند که سایر شرایط فیزیکی لازم برای حیات، شامل محدودهٔ مناسب دمایی، pH، فشار اتمسفر، شوری و مقادیر کم مواد شیمیایی سمی است. این نظریه با کشف موجودات افراطی‌خواه (extremophiles) تغییر کرد دیده شده که این موجودات در چشمه‌های داغ و سولفور اسیدی، اطراف منافذ آب گرم در عمق اقیانوس و در خاک‌های دارای مقادیر زیاد فلزات سمی رشد می‌کنند. چرا astrobiologistها علاقه‌مند به مطالعهٔ افراطی‌خواه‌ها هستند؟ وجود حیات در چنین شرایط سختی، چه چیزی راجع به امکان وجود حیات بر روی سایر سیارات می‌گوید؟

### ۱۳- تحقیق علمی

آزمایشی کنترل‌شده را طراحی کنید که این فرضیه را می‌آزماید که باران اسیدی مانع رشد *Elodea* (گیاهی که در آب شیرین زندگی می‌کند) می‌شود (شکل ۱۹-۲ را ملاحظه کنید).

### ۱۴- تحقیق علمی

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۰ گزارش شد، ک.لانگدن و همکارانش با استفاده از سیستم تپهٔ مرجانی مصنوعی، تأثیر غلظت بی‌کربنات بر روی سرعت فرایند آهکی شدن توسط موجودات تپه‌ساز را آزمودند. نمودار زیر یک سری از نتایج آنها را نمایش می‌دهد. توضیح دهید این داده‌ها چه چیزی را نشان می‌دهند. این نتایج چه ارتباطی با اسیدی شدن اقیانوس دارند که مربوط به افزایش مقادیر $CO_2$ اتمسفری است؟




### ۱۵- علم، فناوری و جامعه

کشاورزی، صنعت و جمعیت‌های روبه‌رشد شهرها، از طریق نفوذ سیاسی همگی با هم برای آب رقابت می‌کنند. اگر شما مسئول منابع آب در ناحیه‌ای خشک بودید، اولویت‌های شما برای اختصاص دادن منبع محدود آب، برای مصارف مختلف چه می‌بود؟ چگونه تلاش می‌کردید بین گروه‌هایی با گرایش‌های متفاوت همدلی ایجاد کنید؟

۱۶- **دربارهٔ موضوع مطرح شده در زیر بنویسید**

**خواص نوپدید.** خواص نوپدید متعدد آب محیط را برای حیات مناسب می‌سازند. به طور مختصر (در ۱۰۰ تا ۱۵۰ کلمه) توضیح دهید که چگونه ساختار مولکول‌های آب باعث می‌شود که آب بتواند به عنوان یک حلال همه‌کاره عمل کند.

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

# 4

# کربن و گوناگونی مولکولی در حیات



▲ شکل ۱-۴ چه خواصی در کربن این عنصر را اساس کل حیات قرار داده است؟

## مفاهیم کلیدی

۱-۴ شیمی‌آلی در اصل مطالعهٔ ترکیبات کربن‌دار است

۲-۴ اتم‌های کربن می‌توانند توسط پیوند با چهار اتم دیگر مولکول‌های گوناگونی را بسازند

۳-۴ گروه‌های شیمیایی معدودی در عملکرد مولکول‌های زیستی نقش کلیدی دارند

## نگاه کلی

### کربن: اساس حیات

با اینکه آب مایهٔ حیات برروی زمین است، اما جانداران، از جمله همهٔ گیاهان و یا حتی سوسک (بندپایی که در شکل ۱-۴ می‌بینید)، از موادی ساخته شده‌اند که بیشتر دارای عنصر کربن هستند. کربن درنتیجهٔ فعالیت گیاهان، وارد زیست‌کره می‌شود. به این شکل که آنها با دریافت انرژی خورشید، $CO_2$ اتمسفر را به مولکول‌های زیستی تبدیل می‌کنند. این مولکول‌ها سپس توسط جانورانی که از گیاهان تغذیه می‌کنند، وارد بدن آنها می‌شوند.

در میان همهٔ عناصر شیمیایی، کربن به‌خاطر توانایی در ساخت مولکول‌های بزرگ، پیچیده و گوناگون، بی‌همتاست و این گوناگونی مولکول‌ها، می‌تواند در جاندارانی که روی زمین زندگی می‌کنند تنوع ایجاد نماید. پروتئین‌ها، DNA، کربوهیدرات‌ها و همهٔ مولکول‌هایی که مادهٔ زنده را از غیرزنده جدا می‌کنند، از اتم‌های کربنی ساخته شده‌اند که با یکدیگر و یا با دیگر عناصر پیوند دارند. هیدروژن (H)، اکسیژن (O)، نیتروژن (N)، گوگرد (S) و فسفر (P) نیز از دیگر عناصر رایج در این ترکیبات می‌باشند، اما تنها کربن (C) است که به‌عنوان عامل گوناگونی مولکول‌های زیستی به‌شمار می‌آید.

پروتئین‌ها و دیگر مولکول‌های بسیار بزرگ، موضوع اصلی فصل ۵ می‌باشند. در این بخش، بیشتر به بررسی مولکول‌های کوچکتر می‌پردازیم و از آنها برای بیان برخی مفاهیم مربوط به ترکیبات کربن‌دار بهره می‌گیریم، تا به این ترتیب اهمیت کربن را در حیات مشخص نماییم. همچنین دربارهٔ ویژگی‌های مواد زندهٔ موجود در جانداران گفتگو می‌کنیم.

## ۱-۴ شیمی‌آلی در اصل مطالعهٔ ترکیبات کربن‌دار است

به دلایل تاریخی، ترکیباتی که کربن دارند را *مواد آلی* می‌نامند و به شاخه‌ای از شیمی که به بررسی این‌گونه ترکیبات می‌پردازد، **شیمی آلی**[1] گفته می‌شود. ترکیبات آلی طیف گسترده‌ای از مولکول‌های کوچکی مانند متان ($CH_4$) تا مولکول‌های بسیار بزرگی مانند پروتئین‌ها (که از هزاران اتم ساخته شده‌اند و وزن مولکولی آنها بیش از ۱۰۰,۰۰۰ دالتون است)، را دربر می‌گیرند. بیشتر ترکیبات آلی افزون بر کربن، هیدروژن نیز دارند.

درصد کلی عناصر اصلی حیات (C، H، O، N، S و P) در بین جانداران کاملاً یکسان است. با اینکه ترتیب واحدهای اتمی سازندهٔ مولکول‌ها محدود است و دارای نسبت تقریباً یکسانی نیز هستند، ولی به‌خاطر ویژگی تطبیق‌پذیری[2] عنصر کربن (توانایی ترکیب عنصر کربن با دیگر عناصر)، می‌توانند گوناگونی خارق‌العاده‌ای از مولکول‌های آلی را پدید آورند. گونه‌های مختلف جانداران و حتی افراد مختلف یک گونه، مولکول‌های آلی متفاوتی دارند و با مولکول‌های آلی‌شان از یکدیگر تشخیص داده می‌شوند.

---

1 - Organic chemistry

۲- چون اتم کربن در جدول تناوبی سرگروه گروه چهارم و مرز بین گروه فلزات و غیرفلزات می‌باشد دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است که می‌تواند هم با فلزات و هم با غیرفلزات ترکیب شود، به‌همین دلیل گفته می‌شود خاصیت تطبیق‌پذیری دارد.

انسان‌ها، از آغاز پیدایش از دیگر جانداران به‌عنوان منبع مواد ارزشمند (به‌عنوان غذا، دارو و الیاف) استفاده می‌کردند. دانش شیمی آلی حاصل تلاش‌هایی بود که برای افزایش بازده ساخت و خالص‌سازی این مواد انجام می‌شد. در ابتدای قرن نوزدهم، شیمی‌دانان با ترکیب کردن عناصر توانایی ساخت ترکیبات سادهٔ آلی را در آزمایشگاه، در شرایط خاص، به‌دست آوردند. ساخت مصنوعی مواد آلی پیچیده که در جانداران وجود دارد غیرممکن به‌نظر می‌رسید. در آن هنگام، شیمی‌دانی سوئدی به‌نام جونز ژاکوب برزلیوس[1] ترکیبات آلی را که به‌نظر می‌رسید تنها در جانداران یافت می‌شوند، از ترکیبات غیرآلی که در جهان غیرزنده پیدا می‌شدند، جدا کرد. شیمی آلی در ابتدای پیدایش بر پایهٔ نظریهٔ **حیات‌گرایی**[2] توجیه می‌شد؛ باوری که بیان می‌کرد زندگی در اثر نیرویی ماورای قوانین فیزیکی و شیمیایی شکل می‌گیرد.

شیمی‌دانان تلاش کردند که نظریهٔ حیات‌گرایی را با دستیابی و ساخت مولکول‌های آلی در شرایط آزمایشگاهی، رد کنند. در سال ۱۸۲۸، *فردریش وولر*[3] شیمی‌دان آلمانی که همراه برزلیوس بود، تلاش کرد تا نمکی غیرآلی به‌نام آمونیم سیانات را از راه ترکیب کردن محلول یون آمونیوم ($NH_4^+$) و یون سیانات ($CNO^-$) به‌دست آورد. هنگامی که وولر نتیجهٔ آزمایش را دید حیرت‌زده شد زیرا به‌جای فراوردهٔ پیش‌بینی شده توانسته بود اوره بسازد؛ ماده‌ای که در ادرار جانوران یافت می‌شود! سپس وی با نوشتن این مطلب که «باید به شما بگویم که بدون نیاز به جانور و یا کلیهٔ آن توانستم اوره بسازم» نظریهٔ حیات‌گرایی را به چالش کشید. به‌هر روی، چون یکی از اجزای به‌کار رفته برای ساخت اوره یعنی سیانات را از خون جانور گرفته بود، نتوانست حیات‌گراها را متقاعد سازد. بالاخره چند سال بعد هرمن *کُلب*[4] شاگرد وولر توانست استیک اسید را که یک ترکیب آلی است از موادی غیرآلی که مستقیماً از ترکیب کردن عناصر به‌دست می‌آید، بسازد.

### مولکول‌های آلی و منشأ حیات بر روی کرهٔ زمین

**تکامل** در نهایت پس از چند دههٔ حیات‌گراها با پیشرفت ساخت مولکول‌های آلی پیچیده در آزمایشگاه‌ها شکست خوردند. در سال ۱۹۵۳، *استنلی میلر*[5] یکی از دانشجویان *هرلد یوری*[6] که فارغ‌التحصیل دانشگاه شیکاگو بود، توانست ساخت غیرزیستی (غیرزنده) ترکیبات آلی را به متن تکامل وارد کند (**شکل ۲- ۴**). میلر به کمک شبیه‌سازی آزمایشگاهی، شرایط جو آغازین زمین را درست کرد و نشان داد که ساخت خودبه‌خودی ترکیبات آلی می‌تواند اولین مرحلهٔ آغاز حیات برروی زمین باشد.

---

1 - Jons Jakob Berzelius
2 - Vitalism
3 - Friedrich Wohler
4 - Hermann Kolbe
5 - Stanley Miller
6 - Harold Urey

---

**پژوهش**

**▼ شکل ۲- ۴**

**آیا مولکول‌های آلی می‌توانستند برروی زمین اولیه به‌وجود آیند؟**

**آزمایش:** *در سال ۱۹۵۳، استنلی میلر شرایط محیطی را که فکر می‌کرد برروی زمین اولیه بوده بازسازی کرد. میلر از تخلیهٔ الکتریکی (بازسازی صاعقه) برای راه‌اندازی واکنش در جو دارای $H_2O$، $H_2$، $NH_3$ (آمونیاک) و $CH_4$(متان) استفاده کرد (برخی از این گازها از آتشفشان‌ها خارج می‌شدند).*

2 «اتمسفر» حاوی مخلوطی از گاز هیدروژن ($H_2$)، متان ($CH_4$)، آمونیاک ($NH_3$)، و بخار آب بود.

3 از جرقه برای بازسازی صاعقه استفاده شد.

1 مخلوط آب موجود در «دریای» فلاسک حرارت داده شد؛ بخار آب به «اتمسفر» فلاسک وارد شد.

"Atmosphere"

$CH_4$

Water vapor

Electrode

$NH_3$ $H_2$

Condenser

Cooled "rain" containing organic molecules

Cold water

$H_2O$ "sea"

Sample for chemical analysis

5 همچنان که مواد در دستگاه گردش می‌کردند، میلر نمونه‌هایی را به‌طور متناوب برای آنالیز جمع‌آوری می‌کرد.

4 یک متراکم‌کننده اتمسفر را خنک می‌کرد و آب و مولکول‌های حل‌شده در آن را به درون «دریای» فلاسک وارد می‌نمود.

**نتایج:** *انواع گوناگونی از ترکیبات آلی که در سلول‌های زنده وجود دارند در دستگاه میلر ساخته شدند. این مولکول‌ها شامل ترکیبات ساده‌ای، از قبیل فرمالدئید ($CH_2O$) و هیدروژن سیانید (HCN)، و مولکول‌های پیچیده‌تری، مانند آمینواسیدها و هیدروکربن‌ها بودند.*

**نتیجه‌گیری:** *ترکیبات آلی، شاید به‌صورت غیر زیستی برروی زمین اولیه ایجاد شده باشند. (در مورد این فرضیه در فصل ۲۵ به‌طور گسترده بحث خواهیم کرد.)*

**منبع:** S. L. Miller, A production of amino acids under possible primitive Earth conditions, *Science* 117:528–529 (1953).

**چه می‌شد اگر؟** *اگر میلر در آزمایش خود، غلظت $NH_3$ را افزایش داده بود مقادیر نسبی محصولات HCN و $CH_2O$ چگونه تغییر می‌کردند؟*

| مدل فضا پرکن | مدل گوی و میله | فرمول ساختاری | فرمول مولکولی | Name and Comment |
|---|---|---|---|---|
| | | H–C(H)(H)–H | $CH_4$ | (a) متان. وقتی که یک اتم کربن با اتم‌های دیگر چهار پیوند تشکیل می‌دهد، مولکول حاصل چهاروجهی است. |
| | | H–C(H)(H)–C(H)(H)–H | $C_2H_6$ | (b) اتان. یک مولکول ممکن است بیش از یک گروه چهاروجهی از اتم‌هایی با پیوندهای منفرد داشته باشد. (اتان حاوی دو تا از این گروه‌ها است.) |
| | | $H_2C{=}CH_2$ | $C_2H_4$ | (c) اِتن (اتیلن). وقتی که دو اتم کربن توسط یک پیوند دوگانه متصل می‌شوند، همهٔ اتم‌های متصل به این کربن‌ها در سطح یکسانی قرار می‌گیرند؛ در واقع مولکول تخت است. |

▲ شکل ۳-۴ ساختار سه مولکول آلی ساده.

پیشرفت شیمی آلی موجب شد تفکر زیستی از نظریهٔ حیات‌گرایان به نظریهٔ مکانیسمی تغییر پیدا کند. نظریهٔ مکانیسمی بیان می‌کند که همهٔ پدیده‌ها و فرایندهای زیستی از قوانین فیزیکی و شیمیایی پیروی می‌کنند. تعریف شیمی آلی نیز به‌صورت شیمی بررسی ترکیبات کربن‌دار، صرف‌نظر از منشأ آنها، تغییر کرد. بیشتر ترکیبات آلی به‌وسیلهٔ موجودات زنده ساخته می‌شوند و این مولکول‌ها از نظر گوناگونی و پیچیدگی با ترکیبات آلی مصنوعی غیرقابل مقایسه‌اند. ولی به‌هرحال قوانین شیمیایی یکسانی بر مولکول‌های آلی و غیرآلی حکم فرماست. همهٔ شیمی آلی یک نیروی حیاتی قابل لمس نیست اما تطبیق‌پذیری بی‌همتای عنصر کربن کاملاً آشکار است.

## پرسش‌های مبحث ۱-۴

۱. چرا وولر از اینکه اوره ساخته بود، تعجب کرد؟

۲. چه می‌شد اگر؟ هنگامی که میلر آزمایش خود را بدون تخلیهٔ الکتریکی انجام داد، ترکیبات آلی ساخته نشدند. چه چیزی می‌تواند این نتیجه را توضیح دهد؟

برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.

## ۲-۴ اتم‌های کربن می‌توانند توسط پیوند با چهار اتم دیگر، مولکول‌های گوناگونی را بسازند

همان‌گونه که در فصل ۲ آموختید نکتهٔ کلیدی دربارهٔ ویژگی شیمیایی یک اتم مربوط به وضعیت الکترون‌های آن است. وضعیت الکترونی یک اتم، تعداد و نوع پیوندهایی که این اتم می‌تواند داشته باشد را مشخص می‌کند.

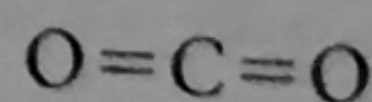
### تشکیل پیوند با کربن

کربن در کل دارای ۶ الکترون می‌باشد، که ۲تای آنها در لایهٔ الکترونی اول و ۴تای دیگر در لایهٔ الکترونی دوم قرار دارند. این عنصر به‌علت داشتن ۴ الکترون در لایهٔ دوم که می‌تواند ۸ الکترون را در خود جای دهد، با گرفتن و یا از دست دادن ۴ الکترون به حالت پایدار می‌رسد. ولی اتم‌های کربن معمولاً لایهٔ ظرفیت خود را با به‌اشتراک گذاشتن الکترون با دیگر اتم‌ها کامل کرده و پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهند. بنابراین هر اتم کربن به مانند یک چهارراه رفتار می‌کند و مولکول حاصل می‌تواند در هر چهار جهت پیشروی کند. این چهارظرفیتی بودن کربن یکی از عواملی است که موجب می‌شود ساخت مولکول‌های بزرگ و پیچیده ممکن باشد.

هنگامی که یک اتم کربن پیوندهای کووالانسی ساده ایجاد می‌کند، آرایش چهار اُربیتال هیبرید آن باعث می‌شود پیوندها به‌سوی گوشه‌های یک هرم فرضی خم شوند (شکل ۱۶b-۲ را ببینید). زاویهٔ پیوندی در متان ($CH_4$) °۱۰۹/۵ است (شکل ۳a-۴). این زاویه تقریباً در همهٔ مولکول‌هایی که در آنها اتم کربن چهار پیوند ساده دارد، یکسان می‌باشد. برای مثال اتان ($C_2H_6$) ساختاری مانند دو هرم دارد که از رأس‌شان هم‌پوشانی دارند (شکل ۳b - ۴). این ویژگی در مولکول‌هایی که شمار بیشتری کربن دارند نیز صادق است و در آنها هر گروه کربن و چهار اتم پیوندی آن، شکلی مانند هرم پیدا می‌کنند. اما هنگامی که اتم‌های کربن با پیوند دوگانه به یکدیگر متصل می‌شوند، همهٔ پیوندهای موجود در پیرامون آن کربن‌ها در یک صفحه قرار می‌گیرند. برای مثال، اتان ($C_2H_4$) یک مولکول مسطح است و همهٔ اتم‌های آن در یک صفحه قرار دارند (شکل ۳c-۴). ما فرمول‌های ساختاری را به‌صورت مسطح نشان می‌دهیم. اما دقت کنید که مولکول‌ها دارای حجم و سه بعد هستند و اغلب، این شکل مولکول است که ویژگی آن را مشخص می‌کند.

وضعیت الکترونی کربن به آن این توانایی را می‌دهد تا بتواند با بسیاری از اتم‌ها پیوند کووالانسی برقرار کند. شکل ۴ - ۴ لایه‌های الکترونی چهار عنصر اصلی ترکیبات آلی را نشان می‌دهد. از فصل ۲ به‌خاطر دارید که این‌گونه الگوها به ما امکان می‌دهند لایهٔ ظرفیت کربن و دیگر عناصر اصلی ترکیبات آلی، یعنی اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن را بررسی کنیم. در شیمی آلی، ظرفیت عناصر به‌عنوان پایه‌های قوانین پیوند کووالانسی درنظر گرفته می‌شود. ظرفیت عناصر، رمز ساختاری است که شکل ساختاری مولکول‌های آلی را کنترل می‌کند.

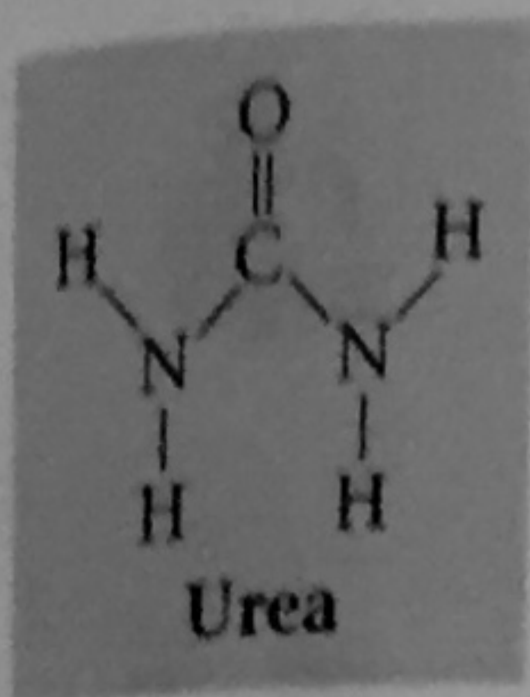
دو مثال دیگر نشان می‌دهند که نحوهٔ پیوند کووالانسی اتم کربن با دیگر اتم‌ها چگونه است. در مولکول کربن دی‌اکسید ($CO_2$)، یک اتم کربن با دو پیوند کووالانسی دوگانه به دو اتم اکسیژن متصل شده است. در شکل زیر فرمول ساختاری $CO_2$ را می‌بینید:



$$O=C=O$$

در فرمول ساختاری، هر خط نشانهٔ یک جفت الکترون اشتراکی است. توجه داشته باشید که اتم کربن در مولکول $CO_2$ دارای ۲ پیوند دوگانه است که خود برابر چهار پیوند ساده است. این پیوندها، لایه‌های ظرفیت همهٔ اتم‌های این مولکول را تکمیل می‌کند. چون مولکول کربن دی‌اکسید بسیار ساده و کوچک و در ضمن بدون هیدروژن است، معمولاً آن را غیرآلی به‌شمار می‌آورند، با وجودی که دارای کربن است. خواه، $CO_2$ را آلی و خواه غیرآلی بنامیم، هیچ شکی در مورد نقش مهم $CO_2$ در چرخهٔ حیات وجود ندارد. همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد $CO_2$ منبع کربن برای همهٔ ترکیبات آلی جانداران است.

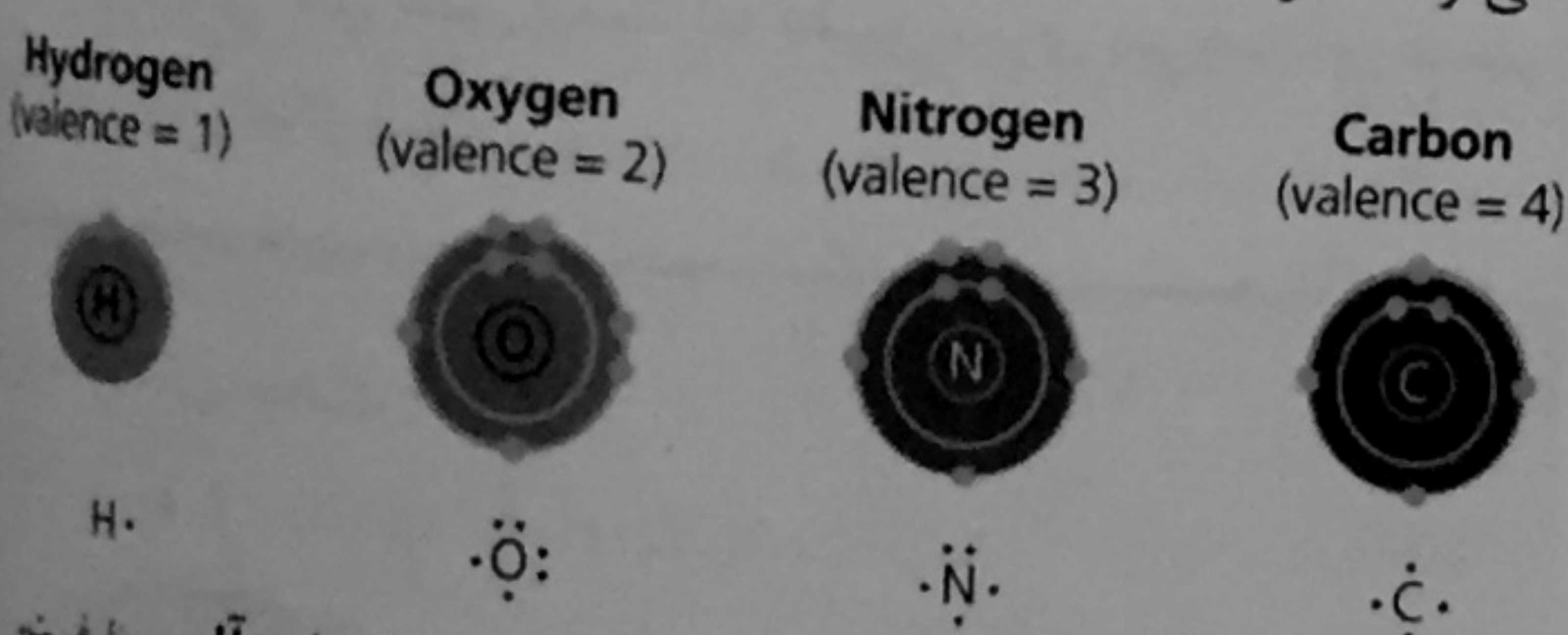
مولکول نسبتاً سادهٔ دیگر اوره است؛ $CO(NH_2)_2$. این ترکیب آلی در ادرار یافت می‌شود و وولر توانست در اوایل قرن نوزدهم آن را در آزمایشگاه بسازد. فرمول ساختاری اوره را در شکل مقابل می‌بینید. بازهم می‌بینید که هر اتم دارای چند پیوند کووالانسی مورد نیاز خود است. در این مولکول، اتم کربن، هم دارای پیوند کووالانسی ساده و هم دارای پیوند کووالانسی دوگانه است.




مولکول اوره و کربن دی‌اکسید، تنها دارای یک اتم کربن هستند، اما همان‌گونه که شکل ۳-۴ نشان می‌دهد، اتم کربن می‌تواند از یک یا تعداد بیشتری از الکترون‌های لایهٔ ظرفیت خود استفاده کند و با دیگر اتم‌های کربن پیوند کووالانسی برقرار نماید. چنین ویژگی، این امکان را پدید می‌آورد که اتم‌ها بتوانند زنجیره‌ای بلند و بی‌شمار بسازند.

## گوناگونی مولکولی، ناشی از اسکلت‌های کربنیِ مختلف است

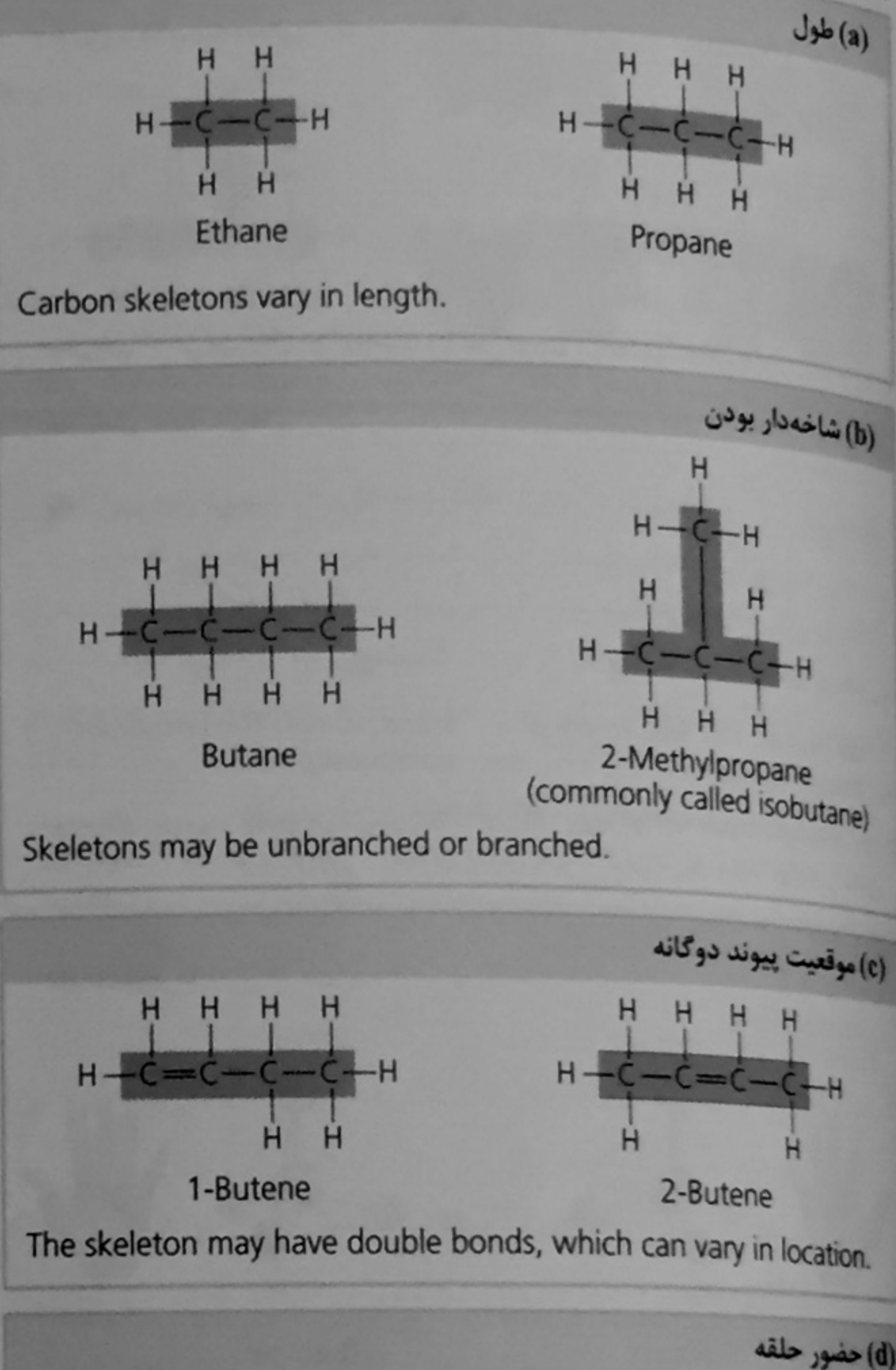
زنجیره‌های کربنی، اسکلت مولکول‌های آلی را می‌سازند (شکل ۵ - ۴). اسکلت‌های کربنی ممکن است از لحاظ بلندی گوناگون باشند و یا به‌صورت خطی، شاخه‌دار و حتی حلقه‌های نزدیک به‌هم باشند. برخی از اسکلت‌های کربنی دارای پیوندهای دوگانه‌اند که از لحاظ تعداد و محل قرارگیری پیوند با یکدیگر تفاوت دارند. این گوناگونی در اسکلت کربنی، خود یکی از عوامل مهم ایجاد پیچیدگی و گوناگونی در مولکول‌های زیستی است که از ویژگی‌های مادهٔ زنده می‌باشد. علاوه براین، اتم‌های دیگر عناصر می‌توانند در جای مناسب با زنجیرهٔ کربنی پیوند برقرار کنند.




▲ شکل ۴-۴ ظرفیت عناصر اصلی در مولکول‌های آلی. *ظرفیت، تعداد پیوندهای کووالانسی است که یک اتم می‌تواند تشکیل دهد و معمولاً برابر تعداد الکترون‌هایی است که اتم نیاز دارد تا بیرونی‌ترین لایهٔ الکترونی خود (لایهٔ ظرفیت خود) را کامل کند (شکل ۹-۲ را ببینید).*

**ارتباط دهید** *با توجه به شکل ۹-۲ ساختارهای نقطه‌ای لوئیس را برای سدیم، فسفر، سولفور و کلر رسم کنید.*

▼ شکل ۵-۴ گوناگونی در اسکلت‌های کربنی.



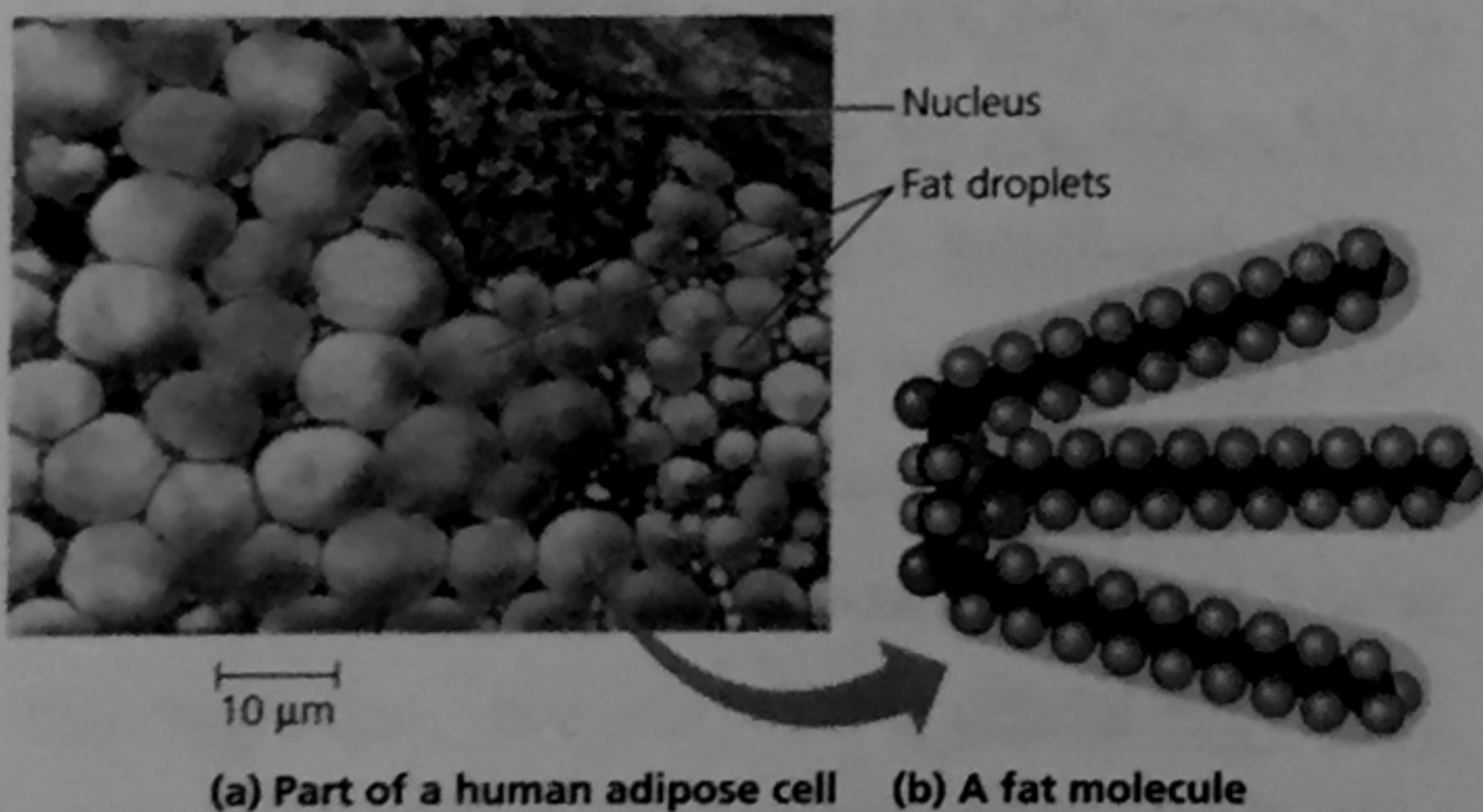

### هیدروکربن‌ها

همهٔ مولکول‌هایی که در شکل‌های ۳-۴ و ۵-۴ می‌بینید **هیدروکربن** هستند، یعنی ترکیبات آلی که تنها از هیدروژن و کربن ساخته شده‌اند. اتم‌های هیدروژن در جاهایی از زنجیرهٔ کربنی که الکترون برای پیوند کووالانسی وجود دارد به زنجیرهٔ کربنی متصل شده‌اند. هیدروکربن‌ها اصلی‌ترین جزء نفت خام هستند. به نفت خام سوخت فسیلی می‌گویند، زیرا از باقی‌مانده‌های نسبتاً تجزیه‌شدهٔ جاندارانی که میلیون‌ها سال پیش زندگی می‌کردند، ساخته شده است.

با آنکه هیدروکربن‌ها چندان در جانداران یافت نمی‌شوند، بسیاری از مولکول‌های آلی سلول‌ها، بخش‌هایی دارند که تنها از کربن و هیدروژن ساخته شده‌اند. برای نمونه، مولکول‌های چربی دم‌های بلند هیدروکربنی دارند که به بخشی غیرهیدروکربنی متصل می‌شود (شکل ۶-۴). چربی و نفت خام، هر دو در آب نامحلول هستند و از ترکیبات آب‌گریز به‌شمار می‌آیند، زیرا بیشتر پیوندهای آنها از نوع پیوند غیرقطبی کربن ـ هیدروژن می‌باشد. از دیگر ویژگی هیدروکربن‌ها این است که می‌توانند انرژی فراوانی تولید کنند. گازوئیلی که به‌عنوان سوخت در ماشین‌های دیزل مصرف می‌شود، از هیدروکربن ساخته شده است و دم‌های هیدروکربنی مولکول‌های چربی نیز سوخت ذخیره‌ای جانوران به‌شمار می‌رود.

### ایزومرها

گوناگونی ساختمان مولکول‌های آلی را می‌توان در ایزومرها دید. **ایزومرها** ترکیباتی هستند که دارای تعداد و انواع یکسانی از اتم‌های مشابه می‌باشند اما به‌دلیل ساختار متفاوت، ویژگی‌های گوناگونی دارند. برای مثال، دو مولکول **پنتانی**[1] که در شکل ۴-۷a می‌بینید را با هم مقایسه کنید. هر دو دارای فرمول مولکولی $C_5H_{12}$ می‌باشند اما تفاوت کلیدی، در نحوهٔ آرایش کووالانسیِ اسکلت کربنی آنهاست. اسکلت کربنی در یکی به‌صورت خطی و در دیگری به‌صورت منشعب است. اکنون به بررسی سه نوع ایزومر می‌پردازیم: *ایزومرهای ساختمانی*[2]، *ایزومرهای سیس - ترانس*[3] و *انانتیومرها*[4].




▲ **شکل ۶-۴ نقش هیدروکربن‌ها در چربی‌ها.** *(a) سلول‌های چربی پستانداران، مولکول‌های چربی را به‌عنوان منبع سوخت در خود انباشته می‌کنند. همان‌گونه که در این ریزنگار می‌بینید، سلول از قطره‌های چربی بزرگی پر شده است که این قطره‌ها خود از تعداد فراوانی مولکول چربی ساخته شده‌اند. (b) مولکول چربی از یک بخش غیرهیدروکربنی کوچک ساخته شده است که به سه دم (زنجیرهٔ) هیدروکربنی پیوند شده است. دم‌ها می‌توانند تجزیه شوند و انرژی تولید کنند. همچنین این بخش‌ها مسئول خاصیت آب‌گریزی چربی‌ها هستند. (سیاه = کربن؛ خاکستری = هیدروژن؛ قرمز = اکسیژن)*

**ارتباط دهید** *دم‌ها چگونه سبب آب‌گریزی چربی‌ها می‌شوند؟*

1 - Pentane
2 - Structural Isomers
3 - Cis - trans
4 - Enantiomers

**ایزومرهای ساختمانی** از نظر شیوهٔ قرار گرفتن اتم‌ها با یکدیگر تفاوت دارند. تعداد ایزومرهای ساختمانی با افزایش تعداد کربن موجود در اسکلت کربنی به شکل خارق‌العاده‌ای افزایش می‌یابد. برای مثال، تنها سه نوع پنتان وجود دارد (دو نوع از آنها در شکل ۴-۷a نمایش داده شده‌اند)، اما ۱۸ نوع مختلف از $C_8H_{18}$ و ۳۶۶۳۱۹ نوع ایزومر برای $C_{20}H_{42}$ قابل پیش‌بینی است. ایزومرهای ساختمانی ممکن است از لحاظ جایی که پیوند دوگانه وجود دارد هم با یکدیگر متفاوت باشند.

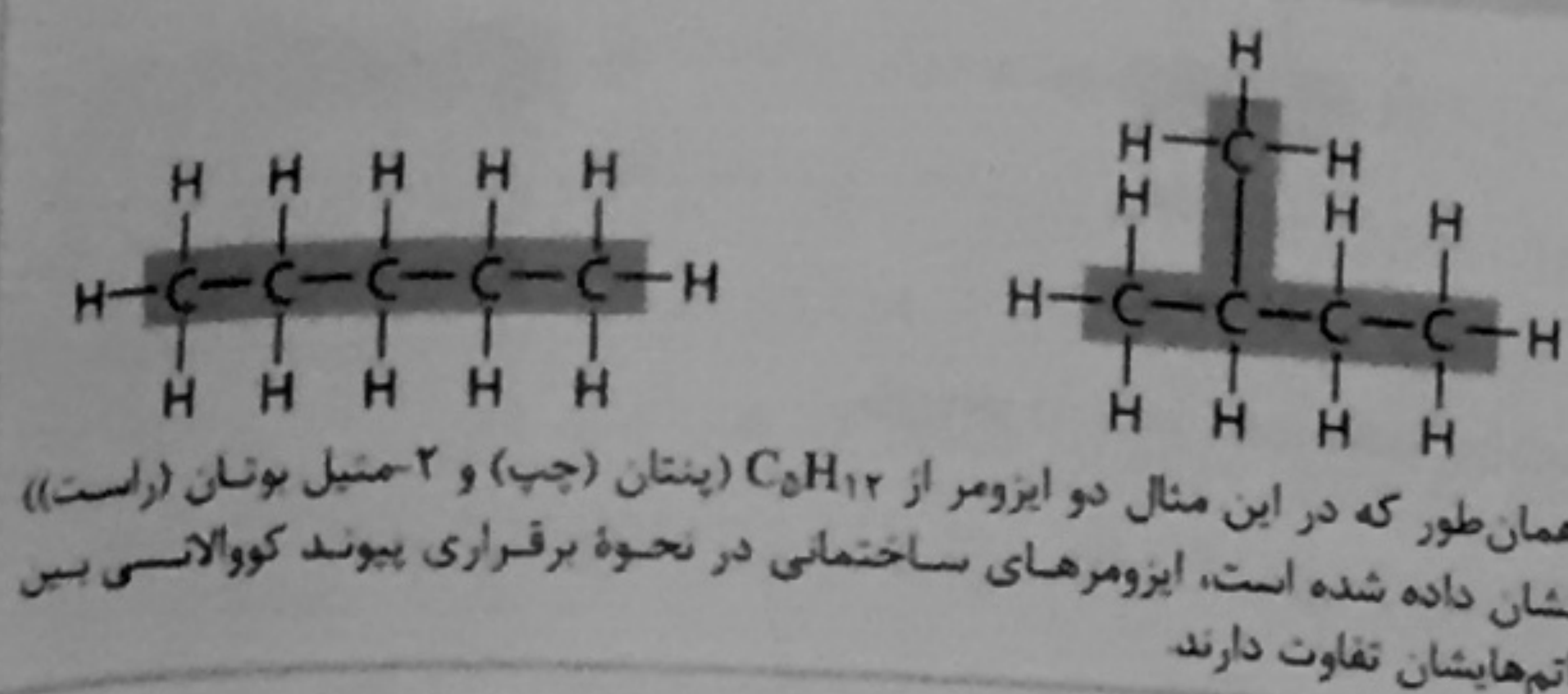
**ایزومرهای سیس - ترانس** دارای *شرکای کووالانسی*[1] مشابهی هستند اما از لحاظ شیوهٔ قرارگیری فضایی با یکدیگر تفاوت دارند. ایزومر هندسی از خاصیت پیوند دوگانه ناشی می‌شود که برخلاف پیوند ساده، به اتم‌ها اجازه نمی‌دهد آزادانه حول محور پیوند بچرخند. هرگاه دو اتم کربن که هریک دارای دو گروه متفاوت از اتم‌ها هستند با پیوند دوگانه به یکدیگر متصل شوند، آن‌گاه امکان ایجاد ۲ نوع ایزومر هندسی وجود دارد. مثال ساده‌ای که در شکل ۴-۷b رسم شده را در نظر بگیرید. هریک از کربن‌ها دارای یک H و یک X می‌باشد اما یکی از ایزومرها به‌صورت «*cis*» است، یعنی هر دو X آن در یک سوی پیوند دوگانه قرار دارند، و ایزومر دیگر «*trans*» است یعنی Xهای آن نسبت به پیوند دوگانه، مقابل هم هستند. این تفاوت کوچک بین ایزومرهای هندسی می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی این مولکول‌های آلی را به‌کلی با هم متفاوت کند. برای مثال در فرایند بیوشیمیایی بینایی، تحریک رودوپسین، (ماده‌ای شیمیایی که در چشم وجود دارد،) به‌وسیلهٔ نور موجب تغییر آن از حالت *cis* به *trans* می‌شود (به فصل ۵۰ مراجعه کنید).

**انانتیومرها** مولکول‌هایی هستند که تصویر آینه‌ای یکدیگرند. در الگوی گوی و میله‌ای که در شکل ۴-۷c می‌بینید، به کربن میانی، *کربن نامتقارن*[2] می‌گویند، چون با چهار اتم یا گروه متفاوت پیوند دارد. این گروه‌ها می‌توانند به دو شکل پیرامون کربن نامتقارن قرار بگیرند که این دو شکل قرینهٔ (تصویر آینه‌ای) یکدیگرند. آنها در حقیقت نسخهٔ چپ‌گرد و یا راست‌گرد مولکول هستند. سلول‌ها معمولاً این دو نوع ایزومر را از راه تفاوت آنها در شکل‌شان شناسایی می‌کنند. عموماً یکی از ایزومرها شکل فعال و نوع دیگر شکل غیرفعال یک ماده‌اند.

1 - Covalent partnerships
2 - Asymmetric carbon

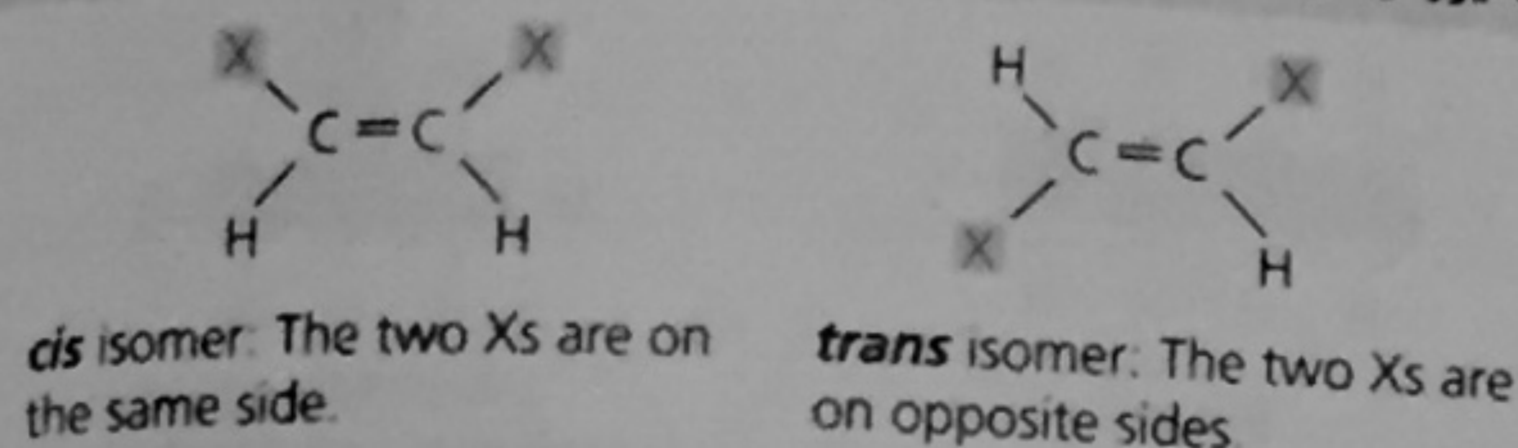
**▼ شکل ۷-۴ سه نوع مختلف ایزومر** *ایزومرها ترکیباتی با فرمول مولکولی مشابه اما ساختاری متفاوت هستند.*

**(a) ایزومرهای ساختمانی**



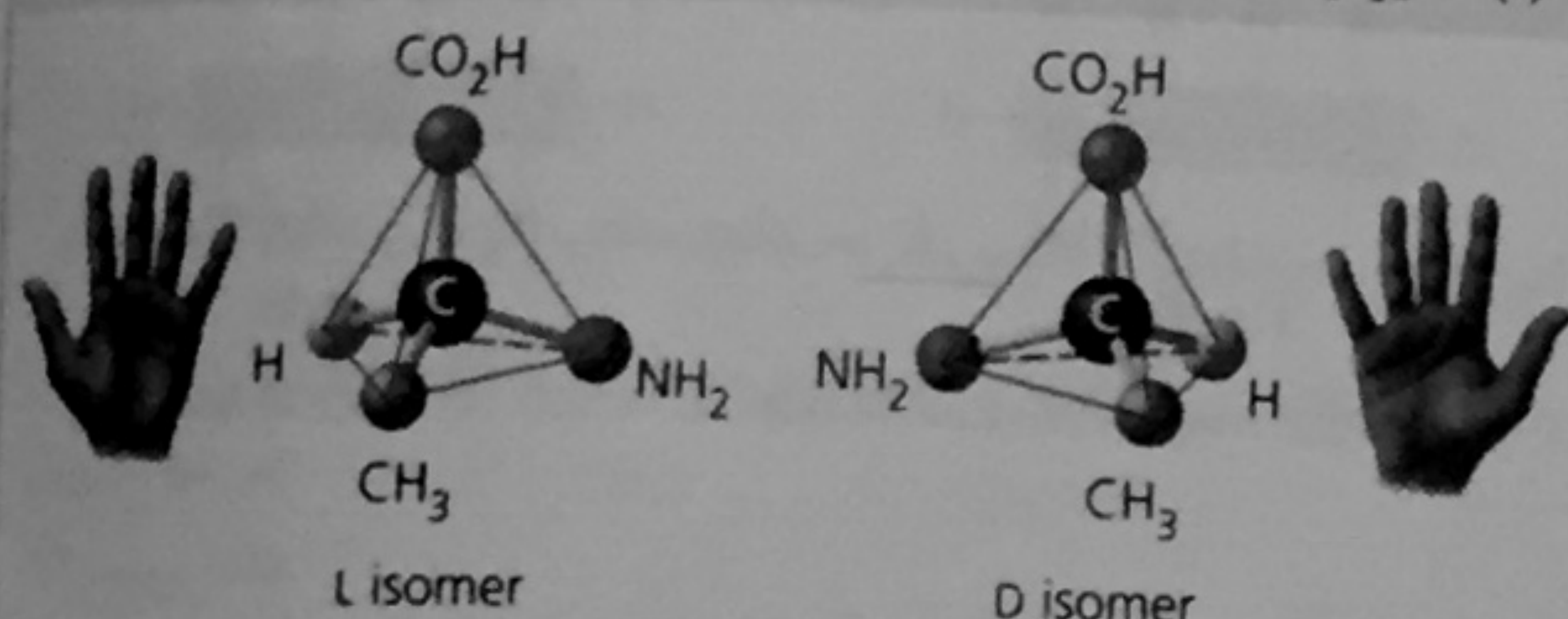
همان‌طور که در این مثال دو ایزومر از $C_5H_{12}$ (پنتان (چپ) و ۲-متیل بوتان (راست)) نشان داده شده است، ایزومرهای ساختمانی در نحوهٔ برقراری پیوند کووالانسی بین اتم‌هایشان تفاوت دارند.

**(b) ایزومرهای سیس- ترانس**




ایزومرهای سیس و ترانس در آرایش اتم‌ها حول یک پیوند دوگانه تفاوت دارند. در این دیاگرام‌ها، X یک اتم یا گروهی از اتم‌های متصل به یک کربنِ دارای پیوند دوگانه را نشان می‌دهد.

**(c) انانتیومرها**




انانتیومرها در آرایش فضایی اتم‌ها حول یک کربن نامتقارن تفاوت دارند؛ این مولکول‌ها تصاویر آینه‌ای یکدیگر هستند (همانند دست چپ و راست). دو ایزومر به صورت L و D نشان داده می‌شوند (از کلمات لاتین برای "Left" *(levo)* و "right" *(dextro)*). انانتیومرها را نمی‌توان بر روی یکدیگر تطبیق داد.

**رسم کنید** *سه ایزومر ساختاری برای $C_5H_{12}$ وجود دارد؛ یکی از این ساختارها را که در (a) نشان داده نشده رسم کنید.*

انانتیومرها در صنعت داروسازی اهمیت دارند، زیرا دو انانتیومر یک دارو ممکن است تأثیر یکسانی نداشته باشند؛ مانند آنچه که در مورد *ایبوپروفن* و *آلبوترول* که در درمان آسم به‌کار می‌رود، مشاهده می‌شود (شکل ۸-۴). *متامفتامین* نیز دارای دو انانتیومر است که اثرات بسیار متفاوتی دارند. یکی از این انانتیومرها «کرانک» است که یک داروی محرک بسیار اعتیادآور است و به صورت غیر قانونی در خیابان‌ها فروخته می‌شود. انانتیومر دیگر اثر بسیار ضعیف‌تری دارد و حتی دیده شده که به عنوان یکی از اجزای اسپری (بخار) استنشاقی برای درمان احتقاق بینی به‌کار می‌رود! آثار متفاوت انانتیومرها در بدن نشان می‌دهد که موجودات حتی به ظریف‌ترین تغییرات ساختار مولکولی حساس هستند. بار دیگر می‌بینیم که ویژگی‌های ظاهری مولکول‌ها بستگی به طرز قرارگیری اتم‌های آنها دارد.

| Drug | Condition | Effective Enantiomer | Ineffective Enantiomer |
|---|---|---|---|
| Ibuprofen | Pain; inflammation | S-Ibuprofen | R-Ibuprofen |
| Albuterol | Asthma | R-Albuterol | S-Albuterol |

▲ شکل ۸-۴ **اهمیت دارویی انانتیومرها.** *ایبوپروفن و آلبوترول از جمله داروهایی هستند که انانتیومرهایشان آثار متفاوتی دارند. (حروف S و R در سیستم نام‌گذاری، برای تمایز بین انانتیومرها به کار می‌روند.) ایبوپروفن التهاب و درد را کاهش می‌دهد و معمولاً به صورت مخلوطی از این دو انانتیومر فروخته می‌شود. انانتیومر S صد برابر مؤثرتر از R است. آلبوترول برای سست کردن عضلات برونشی به‌کار می‌رود و جریان هوا را در مجاری برونشی بیماران آسمی بهبود می‌بخشد. تنها آلبوترول R ساخته شده و به عنوان دارو فروخته می‌شود؛ شکل S ، شکل R فعال را خنثی می‌کند.*

## پرسش‌های مبحث ۲-۴

۱. **رسم کنید** فرمول ساختمانی $C_2H_4$ را رسم کنید.

۲. به شکل ۵-۴ نگاه کنید و بگوئید کدام جفت از مولکول‌ها ایزومر هستند و نوع ایزومری آنها را نیز مشخص کنید.

۳. تشابه شیمیایی مولکول چربی و گازوئیل چیست؟

۴. **چه می‌شد اگر؟** آیا پروپان ($C_3H_8$) می‌تواند ایزومرهایی را تشکیل دهد؟

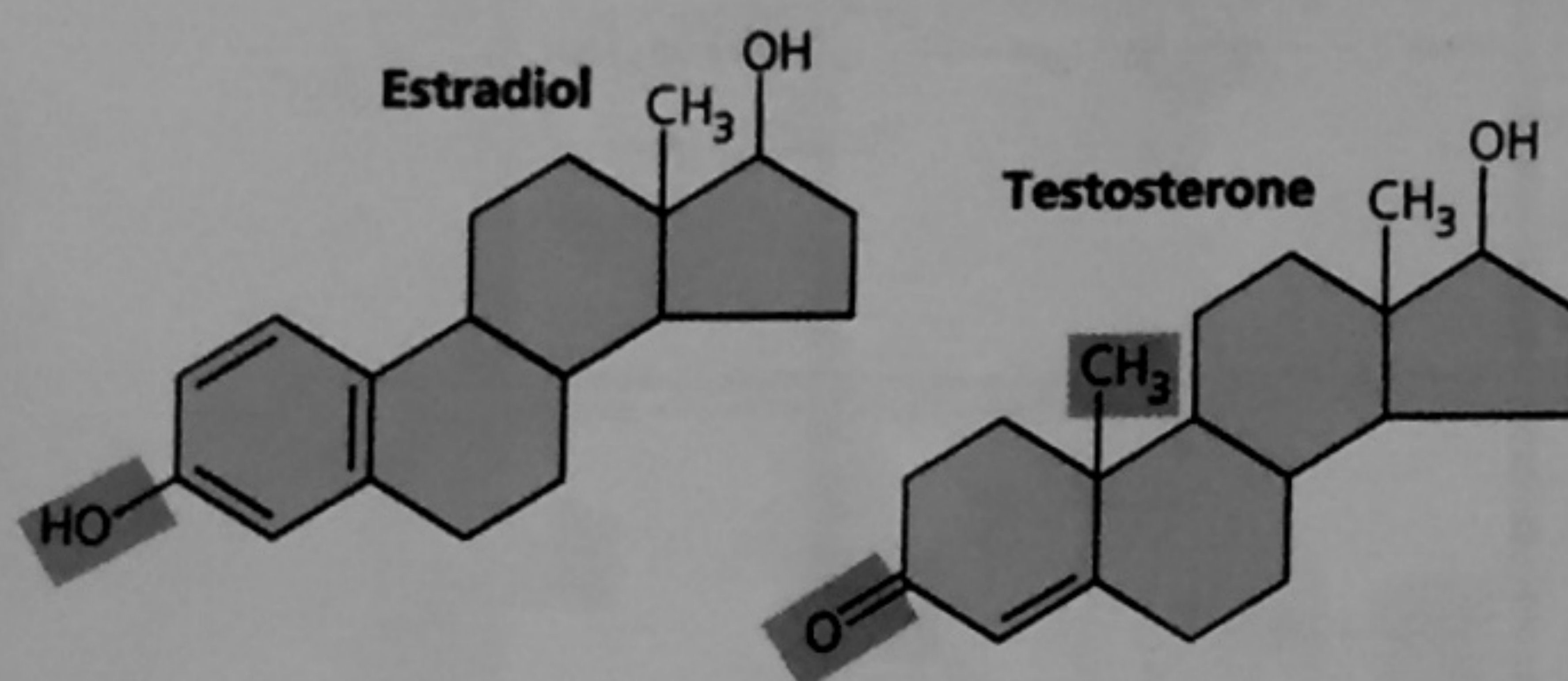
**برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.**

## ۳-۴ گروه‌های شیمیایی معدودی در عملکرد مولکول‌های زیستی نقش کلیدی دارند

ویژگی‌های متفاوت مولکول‌های آلی علاوه بر طرز قرارگیری اسکلت کربنی آن، به گروه‌های شیمیایی متصل به اسکلت نیز بستگی دارد. می‌توان هیدروکربن‌ها (ساده‌ترین مولکول‌های آلی) را به عنوان چارچوب اصلی برای مولکول‌های آلی پیچیده‌تر در نظر گرفت. برخی گروه‌های عاملی می‌توانند جایگزین یک یا تعداد بیشتری از هیدروژن‌های متصل به اسکلت کربنی مولکول هیدروکربنی شوند. همان‌طور که خواهیم دید برخی از گروه‌ها شامل اتم‌های اسکلت کربنی می‌شوند. این گروه‌ها ممکن است در واکنش‌های شیمیایی شرکت کنند یا ممکن است از طریق تأثیر بر شکل مولکولی، به طور غیر مستقیم عمل کنند. ویژگی‌های مختص هر مولکول بستگی به تعداد و طرز قرارگیری گروه‌های شیمیایی آن مولکول دارد.

### گروه‌های شیمیایی که مهمترین نقش را در فرایندهای حیات دارند

تفاوت بین استرادیول (نوعی استروژن) و تستوسترون را در نظر بگیرید. این ترکیبات به ترتیب هورمون‌های جنسی زنانه و مردانه در انسان و سایر مهره‌داران هستند. هر دو هورمون استروئیدی هستند و اسکلت کربنی یکسانی دارند که از ۴ حلقهٔ به‌هم پیوسته تشکیل شده است. این هورمون‌های جنسی تنها در گروه‌های شیمیایی متصل به حلقه‌ها (در اینجا به صورت مختصر نشان داده شده‌اند) با هم متفاوتند. تفاوت‌های ساختاری در شکل به رنگ آبی نشان داده شده‌اند.




تفاوت عمل این دو مولکول در بسیاری از بافت‌های سراسر بدن، به ایجاد ویژگی‌های آناتومیکی و فیزیولوژیکی متفاوت در مهره‌داران نر و ماده کمک می‌کند. بنابراین حتی تفاوت صفات جنسی ما نیز مربوط به تفاوت در ساختار مولکولی است.

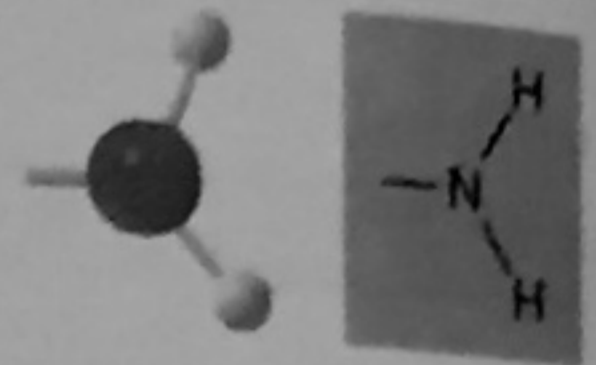
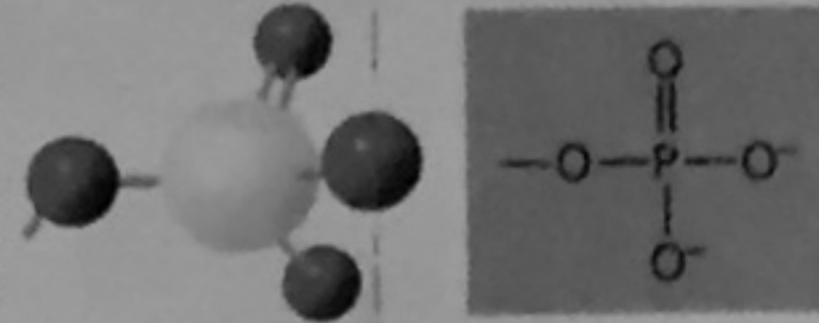
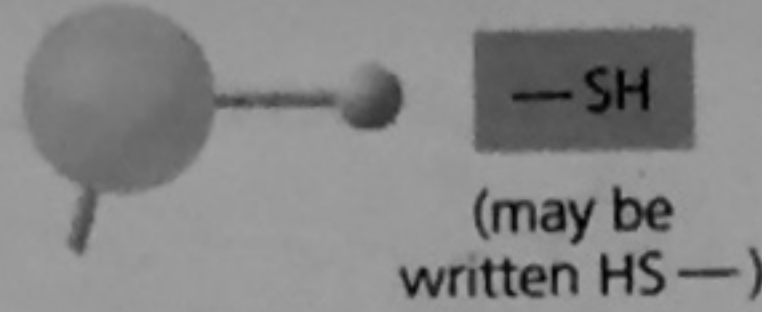
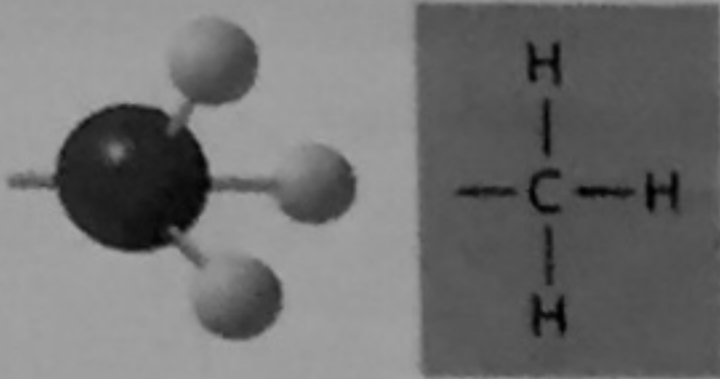
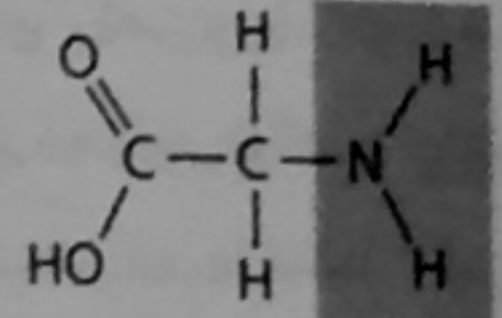
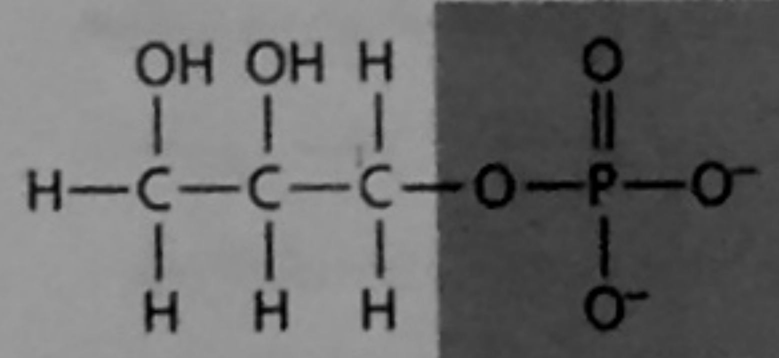
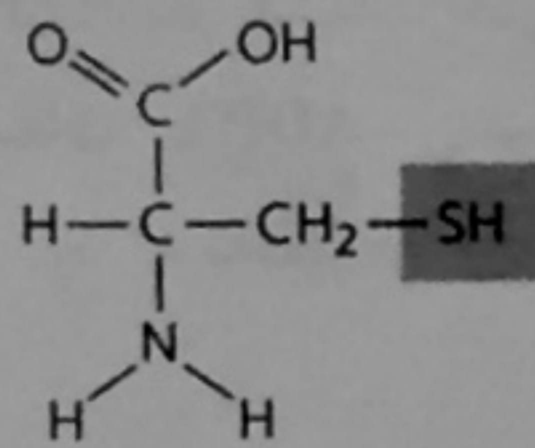
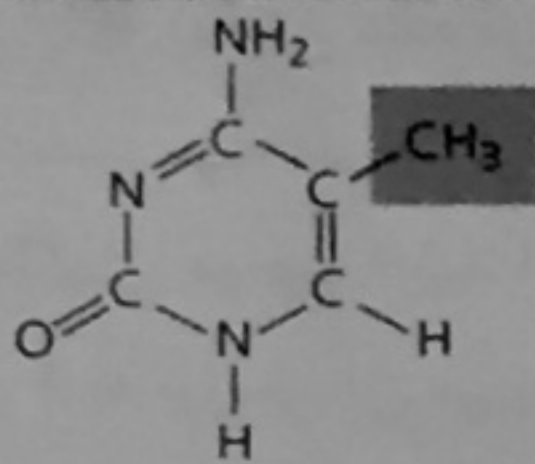
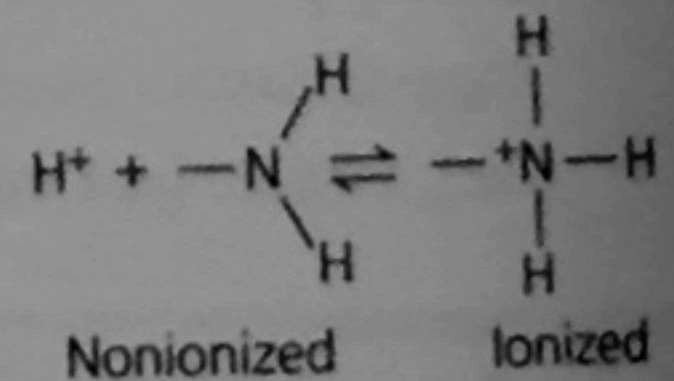
در مورد هورمون‌های جنسی، گروه‌های شیمیایی متفاوت با تأثیر بر روی شکل مولکول نقش خود را ایفا می‌کنند. در سایر موارد، گروه‌های شیمیایی از طریق مشارکت مستقیم در واکنش‌های شیمیایی بر روی عملکرد مولکول تأثیر می‌گذارند؛ این گروه‌های شیمیایی مهم **گروه‌های عامل** نامیده می‌شوند. گروه‌های عامل در مولکول‌های آلی گوناگون به روش خاصی در واکنش‌های شیمیایی شرکت می‌کنند.

هفت گروه شیمیایی که در فرایندهای زیستی از بقیه مهمترند، گروه‌های هیدروکسیل، *کربونیل*، *کربوکسیل*، *آمینو*، *سولفیدریل*، *فسفات* و *متیل* هستند. شش گروه اول می‌توانند به عنوان گروه‌های عامل عمل کنند؛ این گروه‌ها هیدروفیل نیز بوده و از این رو حلالیت ترکیبات آلی را در آب افزایش می‌دهند. گروه متیل واکنش‌گر نیست و اغلب به عنوان یک ***برچسب قابل شناسایی*** در مولکول‌های زیستی عمل می‌کند. برای آشنایی با این گروه‌های شیمیایی مهم **شکل ۹-۴** را مطالعه کنید.

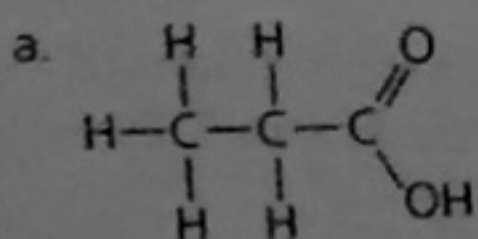
▼ شکل ۱-۶

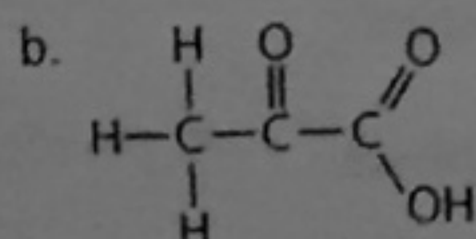
# بررسی برخی از گروه‌های شیمیایی مهم در مولکول‌های زیستی

| گروه شیمیایی | هیدروکسیل | کربونیل | کربوکسیل |
|---|---|---|---|
| ساختار | —OH<br>(may be written HO—)<br>در **گروه هیدروکسیل** (—OH)، اتم هیدروژن به اتم اکسیژن متصل است. اتم اکسیژن به نوبه خود به اسکلت کربنی مولکول آلی وصل است. (این گروه عاملی را با یون هیدروکسید ($OH^-$) اشتباه نگیرید.) | **گروه کربونیل** (>CO) دارای یک اتم کربن است که از طریق یک پیوند دوگانه به یک اتم اکسیژن وصل شده است. | هنگامی که اتم اکسیژن با اتم کربن پیوند دوگانه تشکیل دهد که به گروه OH– نیز متصل شده باشد، مجموعهٔ کلی این اتم‌ها **گروه کربوکسیل** (—COOH) نامیده می‌شود. |
| نام ترکیب | **الکل‌ها** (نام‌های اختصاصی آنها معمولاً با پسوند ـُل تمام می‌شود.) | **کتون‌ها:** اگر گروه کربونیل در داخل اسکلت کربنی قرار گیرد.<br>**آلدهیدها:** اگر گروه کربونیل در انتهای اسکلت کربنی قرار گیرد. | **اسیدهای کربوکسیلیک**، یا اسیدهای آلی |
| مثال | **اتانول**، الکل موجود در نوشیدنی‌های الکلی | **استون**، ساده‌ترین کتون<br>**پروپانال**، یک آلدهید | **اسید استیک**، که باعث مزهٔ ترش سرکه می‌شود |
| ویژگی‌های عملکردی | • قطبی است، زیرا الکترون‌ها اغلب اوقات نزدیک اتم اکسیژن الکترونگاتیو قرار دارند.<br>• می‌توانند با مولکول‌های آب پیوندهای هیدروژنی تشکیل داده و به حل شدن ترکیبات آلی مانند قندها کمک می‌کنند. (قندها در شکل ۲-۵ نشان داده شده‌اند.) | • همان‌طور که در مورد استون و پروپانال می‌بینید، کتون و آلدهید می‌توانند ایزومرهای ساختمانی با ویژگی‌های متفاوت باشند.<br>• گروه‌های کتون و آلدهید در قندها نیز یافت می‌شوند و دو گروه عمدهٔ قندها را ایجاد می‌کنند: کتوزها (حاوی گروه‌های کتونی) و آلدوزها (حاوی گروه‌های آلدهیدی). | • به عنوان اسید عمل می‌کند؛ می‌تواند $H^+$ بدهد، زیرا پیوند کووالان بین اکسیژن و هیدروژن تا حدی قطبی است:<br>$$-C(=O)OH \rightleftharpoons -C(=O)O^- + H^+$$<br>Nonionized — Ionized<br>• در سلول‌ها به شکل یونیزه با بار ۱- وجود داشته و یون کربوکسیلات نامیده می‌شود. |

| آمینو | فسفات | سولفیدریل | متیل |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| **گروه آمینو** ($-NH_2$) شامل یک اتم نیتروژن است که به دو اتم هیدروژن و به اسکلت کربنی متصل است. | در **گروه فسفات** که در اینجا نشان داده شده است، یک اتم فسفر به چهار اتم اکسیژن متصل شده است؛ یکی از اتم‌های اکسیژن به اسکلت کربنی وصل است؛ دو اکسیژن دارای بار منفی هستند ($-OPO_3^{2-}$). در این کتاب Ⓟ معرف گروه فسفات اتصال‌یافته است. | **گروه سولفیدریل** ($-SH$) از یک اتم سولفور متصل به یک اتم هیدروژن تشکیل شده است؛ شکل این گروه مانند گروه هیدروکسیل است. | **گروه متیل** ($-CH_3$) از یک اتم کربن متصل به سه اتم هیدروژن تشکیل شده است. کربن گروه متیل می‌تواند به کربن یا اتم دیگری وصل شود. |
| **آمین‌ها** | **فسفات‌های آلی** | **تیول‌ها** | **ترکیبات متیله** |
|  |  |  |  |
| **گلیسین**، ترکیبی که هم آمین و هم کربوکسیلیک اسید است، زیرا دارای هر دو گروه آمینی و کربوکسیلیک اسیدی است؛ ترکیبات دارای این دو گروه **آمینواسیدها** نامیده می‌شوند. | **گلیسرول فسفات**، که در بسیاری از واکنش‌های مهم شیمیایی در سلول‌ها شرکت می‌کند؛ گلیسرول فسفات همچنین ستون فسفولیپیدها را تأمین می‌کند که بیشترین مولکول‌ها در غشاهای سلولی هستند. | **سیستئین**، آمینواسید مهم حاوی سولفور | **۵- متیل سیتیدین**، جزیی از DNA که با اضافه شدن یک گروه متیل تغییر یافته است. |
| • به عنوان باز عمل می‌کند؛ می‌تواند $H^+$ را از محلول اطراف خود (آب، در موجودات زنده) بگیرد:<br><br>• در سلول‌ها به شکل یونیزه با بار +۱ یافت می‌شود. | • به مولکول بار منفی می‌دهند (هنگامی که در انتهای مولکول قرار می‌گیرند به آن مولکول بار ۲- می‌دهند، مانند آنچه که در بالا دیده می‌شود؛ هنگامی که در داخل زنجیرهٔ فسفاتی قرار می‌گیرند دارای بار ۱- هستند).<br>• مولکول‌های حاوی گروه‌های فسفات، این پتانسیل را دارند که با آب واکنش داده و انرژی آزاد کنند. | • دو گروه سولفیدریل می‌توانند با هم واکنش داده و پیوند کووالان تشکیل دهند. این «اتصال عرضی» به پایداری ساختار پروتئینی کمک می‌کند (شکل ۲۰-۵؛ ساختار سوم را ملاحظه کنید).<br>• اتصال عرضی سیستئین‌ها در پروتئین‌های مو، صاف یا فر بودن مو را سبب می‌شود. موی صاف را می‌توان با پیچیدن اطراف حلقه و سپس شکستن و تشکیل دوبارهٔ پیوندهای عرضی، به طور دائم فر کرد. | • افزودن یک گروه متیل به DNA، یا به مولکول‌های متصل به DNA، بر روی بیان ژن‌ها تأثیر می‌گذارد.<br>• طرز قرارگیری گروه‌های متیل در هورمون‌های جنسی زنانه و مردانه، بر روی شکل و عملکرد آنها تأثیر می‌گذارد. |

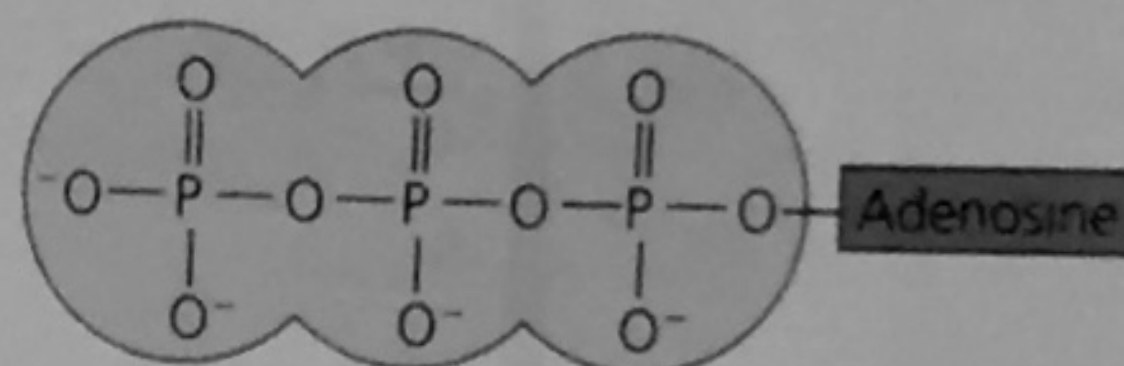
**ارتباط دهید** با توجه به اطلاعات موجود در این شکل و آنچه در مورد الکترونگاتیویتهٔ اکسیژن آموختید (مبحث ۳-۲ را ملاحظه کنید)، پیش‌بینی کنید کدام‌یک از مولکول‌های مقابل اسید قوی‌تری است. (مبحث ۳-۳ را ملاحظه کنید). پاسخ خود را توضیح دهید.

a. 

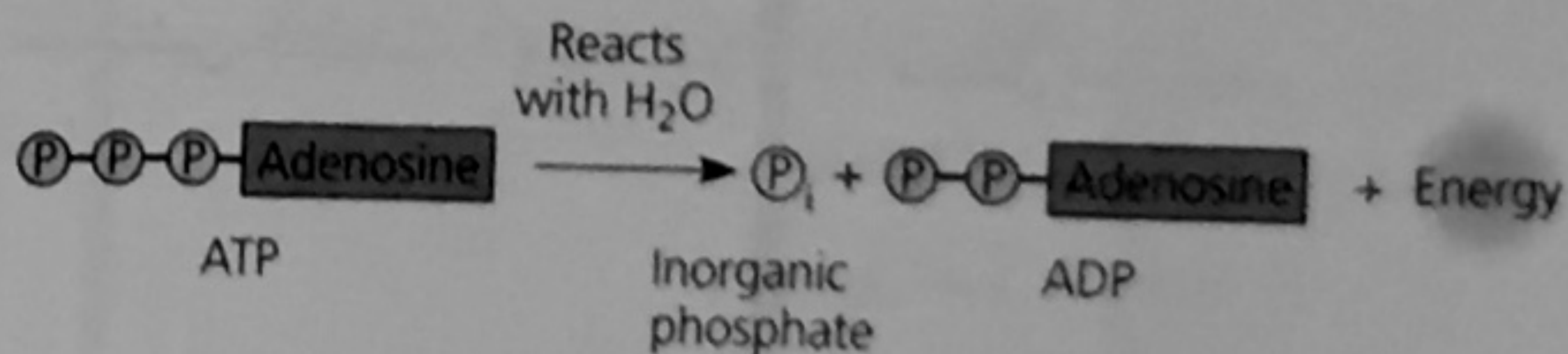

b. 

## ATP: منبع مهم انرژی برای فرایندهای سلولی

ستون فسفات در شکل ۹-۴ یک مثال ساده برای فسفات‌های آلی را نشان می‌دهد. **آدنوزین تری‌فسفات**[1] یا **ATP** مثالی از گروه فسفات است که پیچیده‌تر می‌باشد و چون اصلی‌ترین مولکول حمل کنندهٔ انرژی در سلول است ارزش بررسی دارد. ATP از یک مولکول آلی به‌نام **آدنوزین**[2] که به یک رشتهٔ سه‌تایی از فسفات پیوند شده، تشکیل شده است.




هنگامی‌که هر ۳ فسفات در یک ردیف حاضر هستند ممکن است یکی از این گروه‌های فسفات جدا شده و تبدیل به فسفات معدنی شود. این یون $HOPO_3^{2-}$ در این کتاب به‌صورت خلاصه به شکل Ⓟ$_i$ نمایش داده می‌شود. هنگامی‌که ATP یک فسفات خود را از دست می‌دهد تبدیل به **آدنوزین دی‌فسفات**[3] یا **ADP** می‌شود. این واکنش موجب تولید انرژی در سلول می‌شود که به‌طور دقیق در فصل ۸ به بررسی آن می‌پردازیم.




## پرسش‌های مبحث ۳-۴

۱. واژهٔ «آمینواسید» چه مطلبی را دربارهٔ ساختار مولکولی بیان می‌کند؟

۲. معمولاً هنگامی‌که ATP انرژی آزاد می‌کند دچار چه تغییراتی می‌شود؟

۳. **چه می‌شد اگر؟** فرض کنید که مولکولی آلی مانند سیستئین دارید (شکل ۹-۴ مثال گروه سولفیدریل را ملاحظه کنید)، و به روش شیمیایی گروه $NH_2$– را برداشته و COOH– را به جای آن قرار می‌دهید. فرمول ساختاری این مولکول را رسم کنید و ویژگی‌های شیمیایی آن را حدس بزنید. آیا قبل از این تغییر کربن مرکزی نامتقارن است؟ بعد از تغییر چطور؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

## عناصر شیمیایی حیات: مرور

همان‌گونه‌که آموختید مادهٔ زنده، بیشتر از کربن، اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن و نیز از مقادیر کمتری گوگرد و فسفر تشکیل شده است. این مولکول‌ها از لحاظ توانایی در تشکیل پیوندهای کووالانسی محکم با هم مشترک هستند و این کیفیت برای ساخت مولکول‌های آلی پیچیده ضروری است. در بین همهٔ این عناصر، کربن هنرمندترین عنصر در تولید پیوندهای کووالانسی است. تطبیق‌پذیری عنصر کربن موجب ایجاد گوناگونی در مولکول‌های آلی شده است. این مولکول‌ها هر کدام دارای خاصیت ویژهٔ خود هستند که ناشی از نحوهٔ آرایش اسکلت کربنی و نیز گروه‌های عاملی پیوسته به آن است. بنابراین گوناگونی زیستی، حاصل گوناگونی مولکولی است.

---

1 - Adenosine triphosphate
2 - Adenine
3 - Adenosine diphosphate

# 4 مرور فصل

## خلاصه مفاهیم کلیدی

### ۴-۱ شیمی آلی در اصل مطالعهٔ ترکیبات کربن‌دار است

○ مادهٔ زنده بیشتر از کربن، اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن با مقداری سولفور و فسفر ساخته شده است. اساس مولکولی تنوع زیستی، توانایی کربن در ایجاد مولکول‌های بسیاری است که اشکال و ویژگی‌های شیمیایی خاصی دارند.

○ در گذشته تصور می‌شد ترکیبات آلی تنها در درون بدن موجودات زنده ساخته می‌شوند، اما هنگامی که شیمیدانان توانستند ترکیبات آلی را در آزمایشگاه بسازند این ایده (حیات گرایی) رد شد.

**؟** آزمایش‌های استنلی میلر چگونه فرضیهٔ مکانیسمی را به منشأ حیات بسط داد؟

### ۴-۲ اتم‌های کربن می‌توانند توسط پیوند با چهار اتم دیگر مولکول‌های گوناگونی را بسازند

○ کربن می‌تواند با اتم‌های گوناگونی مانند H، O و N پیوند برقرار کند. اتم‌های کربن همچنین می‌توانند با اتم‌های کربن دیگر پیوند ایجاد کرده و اسکلت کربنی را ایجاد کنند. اسکلت‌های کربنی از لحاظ شکل و اندازه با یکدیگر متفاوتند و نیز دارای جایگاه‌هایی هستند که دیگر اتم‌ها بتوانند به آنها متصل شوند. **هیدروکربن‌ها** تنها از هیدروژن و کربن ساخته شده‌اند.

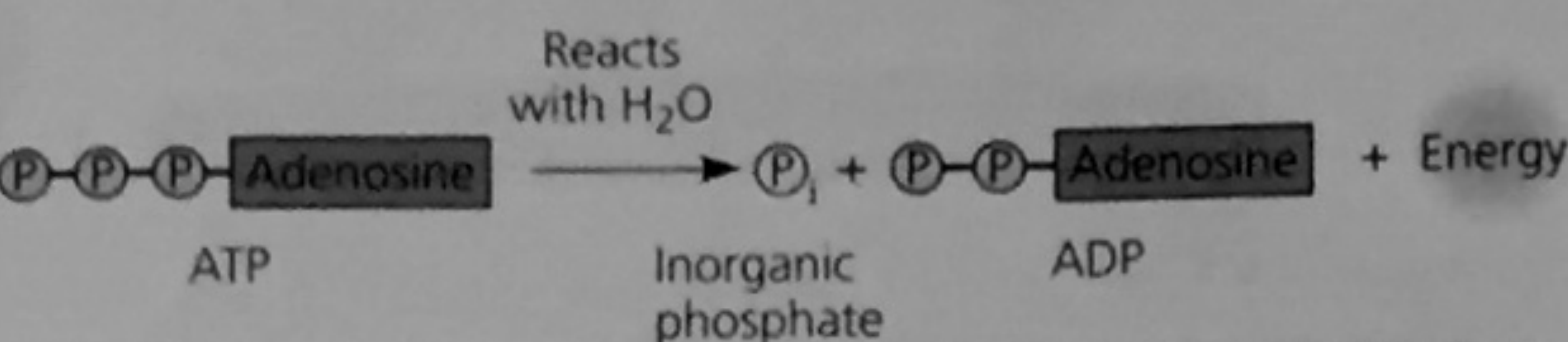
○ **ایزومرها** مولکول‌هایی با فرمول مولکولی یکسان و فرمول ساختاری متفاوت هستند و هریک دارای ویژگی‌های مختص به خود می‌باشند. سه نوع ایزومر عبارتند از: **ایزومرهای ساختمانی، ایزومرهای سیس-ترانس و انانتیومرها.**

**؟** به شکل ۹-۴ برگردید. استون و پروپانال چه نوع ایزومرهایی هستند؟ چه تعداد کربن نامتقارن در اسید استیک، گلیسین، و گلیسرول فسفات حضور دارند؟ آیا این سه مولکول می‌توانند به شکل انانتیومر وجود داشته باشند؟

### ۴-۳ گروه‌های شیمیایی معدودی در عملکرد مولکول‌های زیستی نقش کلیدی دارند

○ گروه‌های شیمیایی متصل به اسکلت کربنی مولکول‌های آلی در واکنش‌های شیمیایی شرکت می‌کنند (**گروه‌های عامل**) و یا با تأثیر بر روی شکل مولکولی فعالیت می‌کنند (شکل ۹-۴ را ببینید).

○ **ATP (آدنوزین تری‌فسفات)** از آدنوزین متصل به سه گروه فسفات تشکیل شده است. ATP می‌تواند با آب واکنش داده و فسفات غیر آلی و ADP (آدنوزین دی‌فسفات) را به‌وجود آورد. این واکنش انرژی آزاد می‌کند که سلول می‌تواند از آن استفاده کند (معادلهٔ زیر را ببینید).

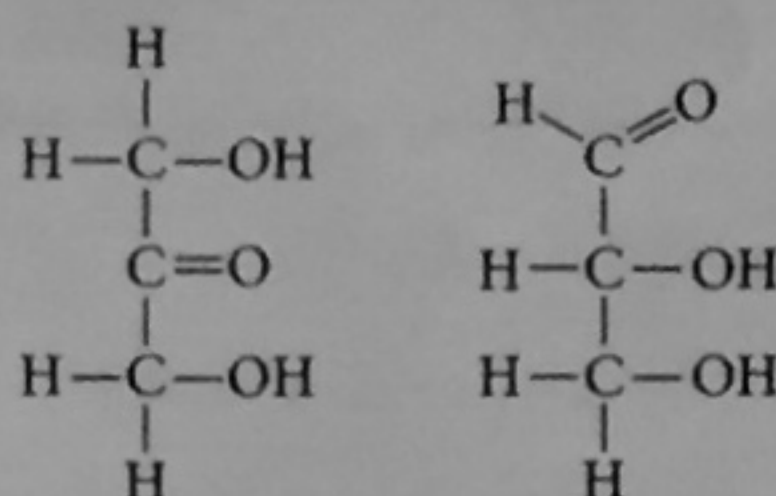



**؟** گروه متیل از نظر شیمیایی با شش گروه شیمیایی مهم دیگر، که در شکل ۹-۴ نشان داده شده‌اند، چه تفاوت‌هایی دارد؟

## خود را بیازمایید

*با مراجعه به سایت www.masteringbiology.com به سؤالات چند گزینه‌ای ۱ تا ۸ پاسخ دهید.*

**۸**- کدام‌یک از مولکول‌های زیر یک کربن نامتقارن دارد؟ کدام کربن نامتقارن است؟



### ۹- ارتباط تکاملی

**رسم کنید** برخی دانشمندان بر این باورند که در جای دیگری از جهان، زندگی برپایهٔ عنصر سیلیسیوم، به‌جای عنصر کربن در زمین، بر پاست. چه ویژگی‌های مشترکی بین کربن و سیلیسیوم وجود دارد که زندگی می‌تواند بر پایهٔ آنها بنا شود ولی مثلاً برای نئون یا آلومینیوم این‌گونه نیست؟ (شکل ۹-۲ را ببینید.)

### ۱۰- تحقیق علمی

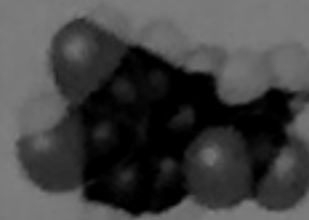
حدود ۵۰ سال پیش داروی *تالیدومید* به علت ایجاد موجی از ناهنجاری‌های مادرزادی در بچه‌هایی که مادران آنها هنگام بارداری برای درمان حالت تهوع صبحگاهی[1] از این دارو استفاده کرده بودند دچار بدنامی شد. به‌هرحال در سال ۱۹۹۸ سازمان غذا و داروی آمریکا[2]

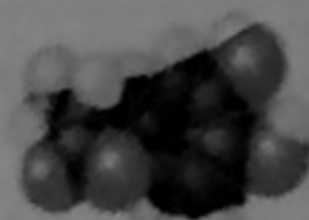
1 - Morning sickness
2 - U.S. Food & Drug Administration

FDA) این دارو را برای درمان حالت‌های خاصی از بیماری هانسن[1] (جذام) تأیید کرد. در آزمایش‌های کلینیکی آشکار شد که تالیدومید برای درمان بیمارانی که از بیماری ایدز رنج می‌برند و همچنین برای درمان سل و برخی از سرطان‌ها نیز مؤثر است. آیا فکر می‌کنید تأیید این دارو درست است؟ اگر پاسخ شما مثبت است در چه شرایطی؟ FDA چه شرایطی را باید برای ترجیح مزایای این دارو بر مضرات آن در نظر بگیرد؟

## ۱۱- درباره موضوع مطرح شده در زیر بنویسید

در سال ۱۹۱۸، نوعی بیماری خواب[2] همه‌گیر[3] شد که موجب فلج سخت[4] در برخی از بازمانده‌ها می‌شد؛ نشانه‌هایی که مانند بیماری پارکینسون پیشرفته هستند. سال‌ها بعد، داروی L-dopa که برای درمان بیماری پارکینسون تجویز می‌شود به این بیماران داده شد و ناگهان نتیجه‌ای همانند آن‌چه در فیلم Awakenings دیده شد رخ داد و L-dopa به‌طور قابل ملاحظه‌ای علائم بیماری را رفع کرد. سپس مشاهده کردند که انانتیومر این دارو یعنی D-dopa، همان‌گونه‌که اثری بر روی پارکینسون نداشت، بر روی این بیماری نیز اثری ندارد. در ۱۰۰ تا ۱۵۰ کلمه بحث کنید که چگونه مؤثر بودن یک انانتیومر و نه دیگری، موضوع ساختار و عملکرد را نشان می‌دهد.


D-dopa


L-dopa

1 - Hansen's disease
2 - Sleeping Sickness
3 - Epidemic
4 - Rigid paralysis

# 5

# ساختار و عملکرد درشت مولکول‌ها



▲ شکل ۱ - ۵ چرا دانشمندان ساختار درشت‌مولکول‌ها را مطالعه می‌کنند؟

## مفاهیم کلیدی

۱- ۵ درشت‌مولکول‌ها پلی‌مرهایی هستند که از واحدهای مونومری ساخته شده‌اند

۲- ۵ کربوهیدرات‌ها به‌عنوان مواد ساختمانی و سوختی به‌کار می‌روند

۳- ۵ لیپیدها گروه گوناگونی از مولکول‌های آب‌گریز هستند

۴- ۵ پروتئین‌ها دارای ساختارهای متعددی هستند که منجر به عملکردهای متنوع آنها می‌شود

۵- ۵ اسیدهای نوکلئیک، اطلاعات وراثتی را ذخیره کرده و انتقال می‌دهند

## نگاه کلی

### مولکول‌های حیات

با توجه به پیچیدگی‌های حیات برروی زمین، انتظار می‌رود تا جانداران تنوع مولکولی بسیار زیادی داشته باشند. اما با این وجود تمامی مولکول‌های مهم بدن جانداران، از فیل گرفته تا باکتری‌ها، در چهار دسته قرار می‌گیرند؛ *کربوهیدرات‌ها*، *لیپیدها*، *پروتئین‌ها* و *اسیدهای نوکلئیک*. در مقیاس مولکولی، مولکول‌های موجود در سه دسته از این ترکیبات - کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک - بسیار بزرگ‌اند و **درشت‌مولکول** خوانده می‌شوند. برای مثال، یک پروتئین ممکن است از هزاران اتم تشکیل شده باشد و حتی وزن مولکولی بیشتر از ۱۰۰,۰۰۰ دالتون داشته باشد. با توجه به اندازه و پیچیدگی درشت‌مولکول‌ها، بیوشیمیست‌ها به بررسی جزئیات ساختاری آنها می‌پردازند (شکل ۱ - ۵). شکل ساختاری یک مولکول زیستی بزرگ به توجیه عملکرد آن بسیار کمک می‌کند. همانند ترکیبات ساده‌ای مثل آب، مولکول‌های بزرگ زیستی نیز دارای ویژگی‌های خاص خود هستند که معلول طرز قرارگیری اتم‌های آنهاست. در این فصل ابتدا به چگونگی ساخت درشت‌مولکول‌ها می‌پردازیم و سپس به بررسی ساختار و عملکرد چهار گروه بزرگ از درشت‌مولکول‌ها، یعنی کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک خواهیم پرداخت.

## ۱-۵ درشت‌مولکول‌ها پلی‌مرهایی هستند که از واحدهای مونومری ساخته شده‌اند

مولکول‌های بزرگِ سه رده از ترکیبات آلی حیات (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، و اسیدهای نوکلئیک)، مولکول‌های زنجیرمانندی هستند که به آنها پلی‌مر گفته می‌شود (از واژهٔ یونانی *Polys*، به‌معنای *بسیاری*، و meris به‌معنای بخش گرفته شده است). یک **پلی‌مر**[1]، مولکولی بلند با واحدهای مشابه یا یکسان است که با پیوندهای کووالانسی به‌هم چسبیده‌اند؛ درست همانند قطاری که از زنجیره‌ای از واگن‌ها تشکیل شده است. واحدهای تکرار شونده، به‌عنوان بلوک‌های سازندهٔ یک پلی‌مر، مولکول‌های کوچکی هستند که به آنها **مونومر**[2] گفته می‌شود. برخی از مولکول‌هایی که به‌عنوان مونومر به‌کار می‌روند، خودشان نیز دارای فعالیت هستند.

### ساختن و شکستن پلی‌مرها

درشت‌مولکول‌های پلی‌مری از لحاظ ماهیت مونومرهای شان متفاوت هستند، اما مکانیسم‌های شیمیایی که سلول‌ها به کمک

1 - Polymer
2 - Monomer

هیدروژن از مولکول آب به یک مونومر و گروه هیدروکسیل به مونومر مجاور متصل می‌گردد. نمونه‌ای از عملکرد هیدرولیز در بدن ما، فرایند گوارش است. مواد آلی غذاهای ما به شکل پلی‌مر بوده و آن‌قدر بزرگ هستند که نمی‌توانند وارد سلول‌های ما شوند. درون لولهٔ گوارشی، آنزیم‌های گوناگون به پلی‌مرها حمله‌ور شده و سرعت هیدرولیز را افزایش می‌دهند. مونومرهای آزاد شده وارد گردش خون می‌شوند تا در سلول‌های بدن توزیع شوند. این سلول‌ها از واکنش‌های آب‌دهی برای ترکیب کردن[3] مونومرها و ساختن پلی‌مرهای جدید استفاده می‌کنند. این پلی‌مرها متفاوت از آنهایی هستند که در لولهٔ گوارشی تجزیه می‌شوند. پلی‌مرهای جدید، کارهای مورد نیاز سلول را انجام می‌دهند.

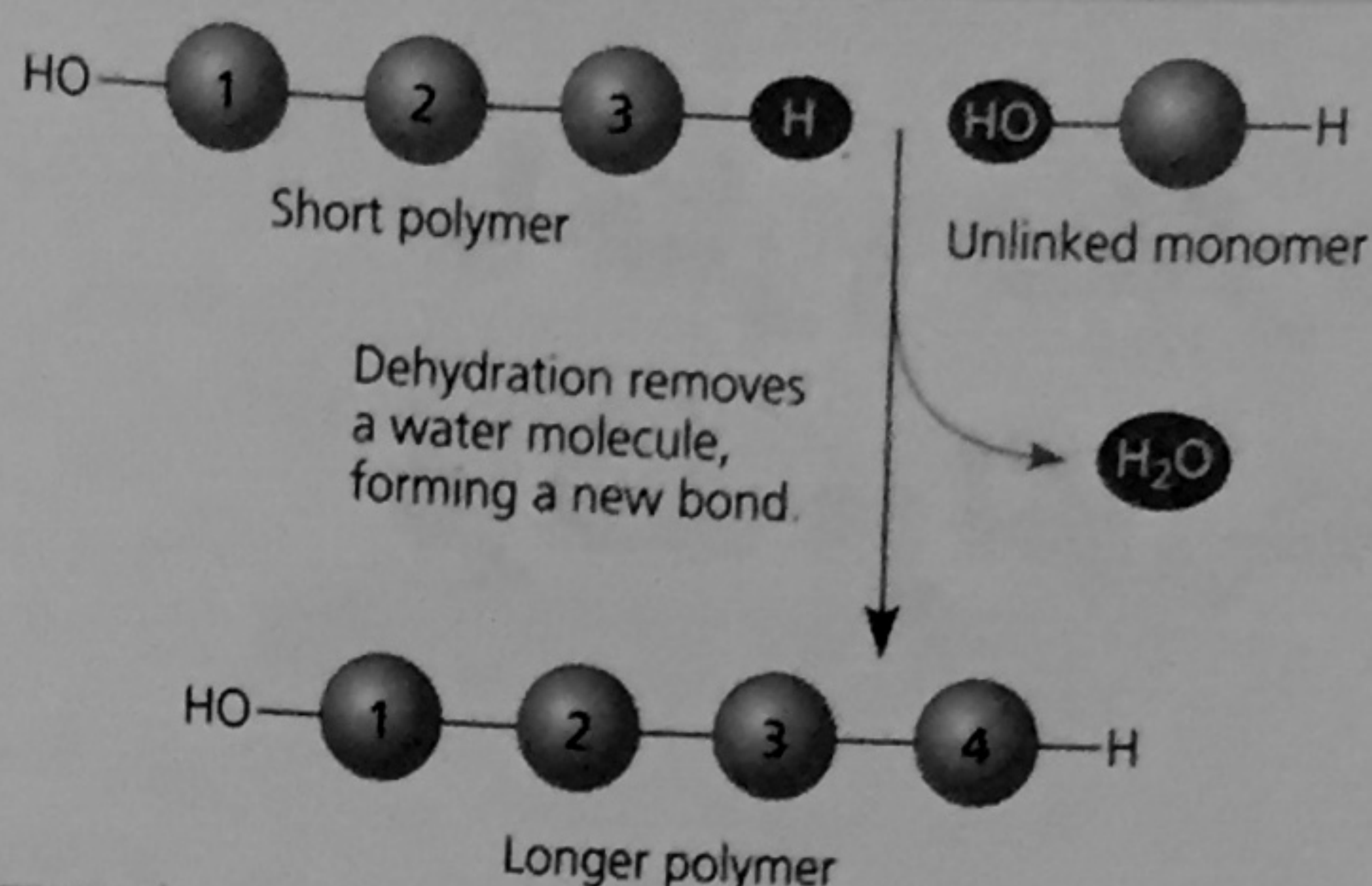
## گوناگونی پلی‌مرها

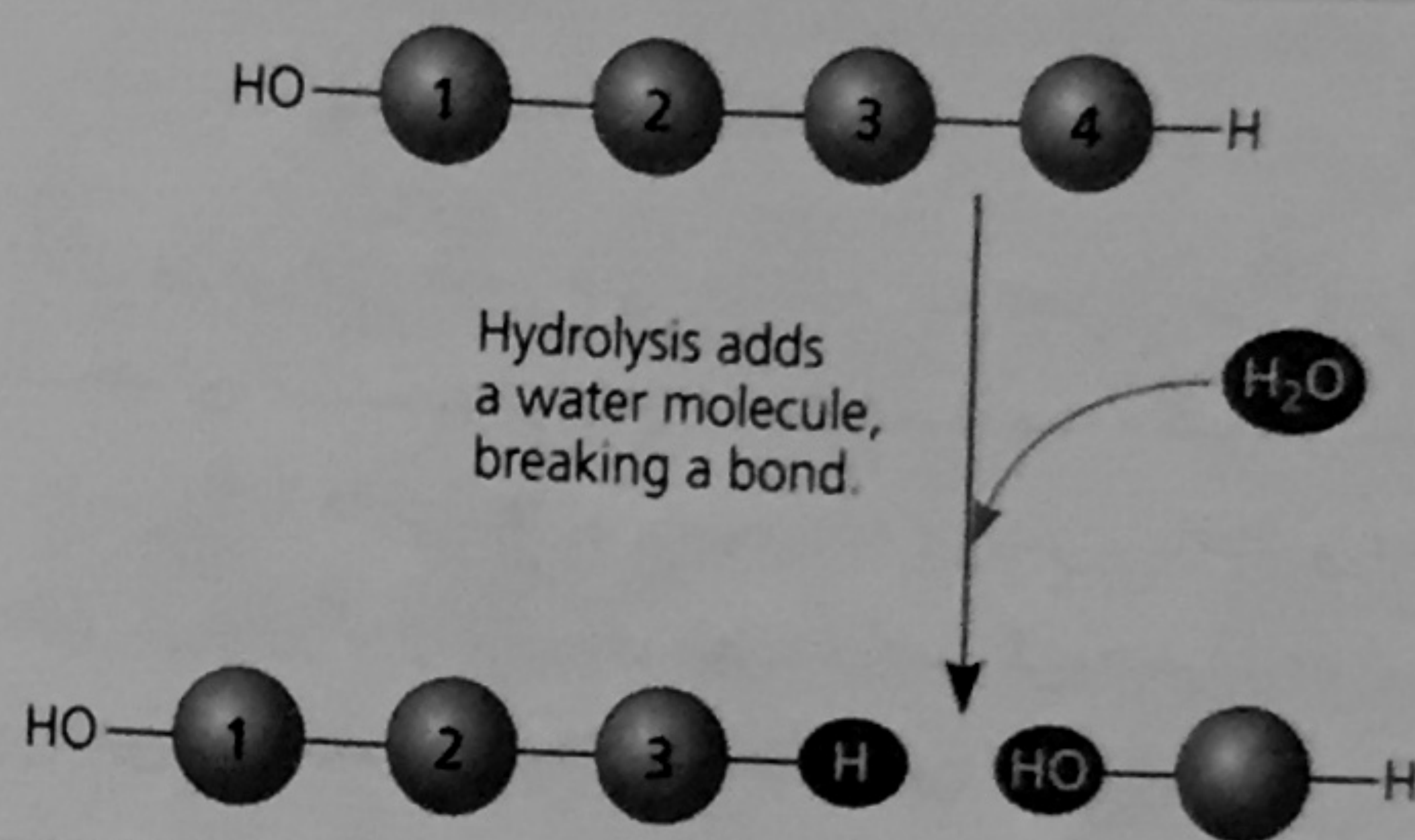
هر سلول دارای هزاران نوع درشت‌مولکول است که از سلولی به سلول دیگر و حتی در سلول‌های یک جاندار نیز فرق می‌کنند. تفاوت‌های وراثتی بین خواهر و برادرها به دلیل اختلاف و گوناگونی درشت‌مولکول‌های آنها، به‌ویژه در سطح DNA و پروتئین‌ها می‌باشد. تفاوت‌های مولکولی بین افراد غیرخویشاوند، بسیار گسترده بوده و این تفاوت‌ها در بین گونه‌ها نیز بیشتر و بزرگ‌تر است. گوناگونی درشت‌مولکول‌ها در جهان زنده بسیار زیاد و فراتر از حدّ تصور است.

پایهٔ چنین گوناگونی‌هایی در پلی‌مرهای زیستی چیست؟ این مولکول‌ها از ۴۰ تا ۵۰ مونومر مشترک ساخته شده‌اند و مونومرهای دیگر در بین آنها کمتر دیده می‌شود. ایجاد تنوع بسیار در سطح پلی‌مرها به کمک انواع محدودی از مونومرها، مانند ساختن صدها هزار کلمه از ۳۲ حرف الفبا می‌باشد. کلید این مسأله، گوناگونی آرایشی در توالی خطی واحدهای مونومری می‌باشد. اما این شبیه‌سازی برای توضیح گوناگونی بسیار بالای درشت‌مولکول‌ها کافی به‌نظر نمی‌رسد. چون پلی‌مرهای زیستی، بلندتر از درازترین کلمهٔ ساخته شده با حروف الفبا است. برای نمونه، پروتئین‌ها از ۲۰ نوع آمینواسید ساخته شده‌اند که زنجیروار در کنار هم آرایش یافته‌اند، به‌گونه‌ای که صدها آمینواسید برای ساختن یک پروتئین در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. *منطق مولکولی حیات* ساده ولی ظریف است؛ مولکول‌های کوچک در همهٔ جانداران مشترک هستند ولی به‌صورت درشت‌مولکول‌های منحصربه‌فرد آرایش یافته‌اند.

حال آماده‌ایم تا ساختارها و اعمال ویژهٔ چهار گروه اصلی از ترکیبات آلی سلول‌ها را بررسی نماییم. در هرکدام از این دسته‌های مولکولی، خواهیم دید که مولکول‌های بزرگ دارای ویژگی‌های جدید و نوپایی هستند که در واحدهای ساختاری آنها یافت نمی‌شود.

3 - Assemble




▲ شکل ۲ - ۵ **ساختن و شکستن پلی‌مرها.**

آنها، این پلی‌مرها را ساخته و یا می‌شکنند در همهٔ رده‌های درشت‌مولکول‌ها یکسان می‌باشند. مونومرها با واکنشی که در آن دو مولکول با پیوند کووالانسی به‌هم پیوند می‌شوند، متصل شده و یک مولکول آب نیز آزاد می‌گردد. این نوع واکنش را **واکنش تراکمی**[1] گویند که نوعی **واکنش آب‌دهی**[2] به‌شمار می‌رود، چون یک مولکول آب آزاد می‌شود (شکل ۲a - ۵). هنگامی‌که یک پیوند بین دو مونومر ایجاد می‌گردد، هر کدام از مولکول‌ها بخشی از مولکول آب آزاد شده را تشکیل می‌دهند: یکی از مولکول‌ها، گروه هیدروکسیل (OH−) و مولکول دیگر، اتم هیدروژن (H−) را فراهم می‌کند. در شکل‌گیری یک پلی‌مر، این واکنش تکرارشده و هر بار یک مونومر، به پلی‌مر در حال ساخت افزوده می‌شود.

پلی‌مرها به کمک فرایند **هیدرولیز** به واحدهای مونومری اولیه تبدیل می‌شوند. فرایندی که عکس واکنش آب‌دهی است (شکل ۲b - ۵). هیدرولیز به‌معنی شکستن به کمک آب (از کلمهٔ یونانی *hydro* یعنی آب و *lysis* یعنی شکستن) می‌باشد. پیوندهای بین مونومرها با افزودن مولکول‌های آب شکسته می‌شود، به‌گونه‌ای که یک

1 - Condensation reaction
2 - Dehydration reaction

| Aldoses (Aldehyde Sugars)<br>Carbonyl group at end of carbon skeleton | Ketoses (Ketone Sugars)<br>Carbonyl group within carbon skeleton |
| --- | --- |
| **Trioses: 3-carbon sugars ($C_3H_6O_3$)** | |
| **Glyceraldehyde**<br>An initial breakdown product of glucose | **Dihydroxyacetone**<br>An initial breakdown product of glucose |
| **Pentoses: 5-carbon sugars ($C_5H_{10}O_5$)** | |
| **Ribose**<br>A component of RNA | **Ribulose**<br>An intermediate in photosynthesis |
| **Hexoses: 6-carbon sugars ($C_6H_{12}O_6$)** | |
| **Glucose** **Galactose**<br>Energy sources for organisms | **Fructose**<br>An energy source for organisms |

▲ **شکل ۳-۵ ساختار و رده‌بندی برخی مونوساکاریدها.**

*قندها در جایگاه گروه‌های کربونیل (نارنجی) خود، طول اسکلت کربنی و آرایش خاص اطراف کربن‌های نامتقارن‌شان با هم تفاوت دارند (برای مثال، بخش‌های ارغوانی گلوکز و گالاکتوز را مقایسه کنید).*

**ارتباط دهید** *در دههٔ ۱۹۷۰، پروژه‌ای طراحی و انجام شد که گلوکز موجود در شیرهٔ ذرت را به فروکتوز، ایزومر شیرین‌تر آن تبدیل می‌کرد. شربت ذرت پُرفروکتوز، ترکیبی رایج در نوشیدنی‌های شیرین و غذاهای فرآوری‌شده، از گلوکز و فروکتوز تشکیل شده است. گلوکز و فروکتوز چه نوع ایزومرهایی هستند؟*

### پرسش‌های مبحث ۱-۵

۱. چهار گروه اصلی از مولکول‌های بزرگ‌زیستی کدامند؟

۲. چند مولکول آب برای هیدرولیز کامل یک پلی‌مر ساخته شده از ۱۰ واحد مونومری نیاز است؟

۳. **چه می‌شد اگر؟** فرض کنید که تعدادی لوبیای سبز می‌خورید. چه تغییراتی باید در مونومرهای پروتئین‌های آن به‌وجود آید تا تبدیل به پروتئین‌های بدن شما شوند؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

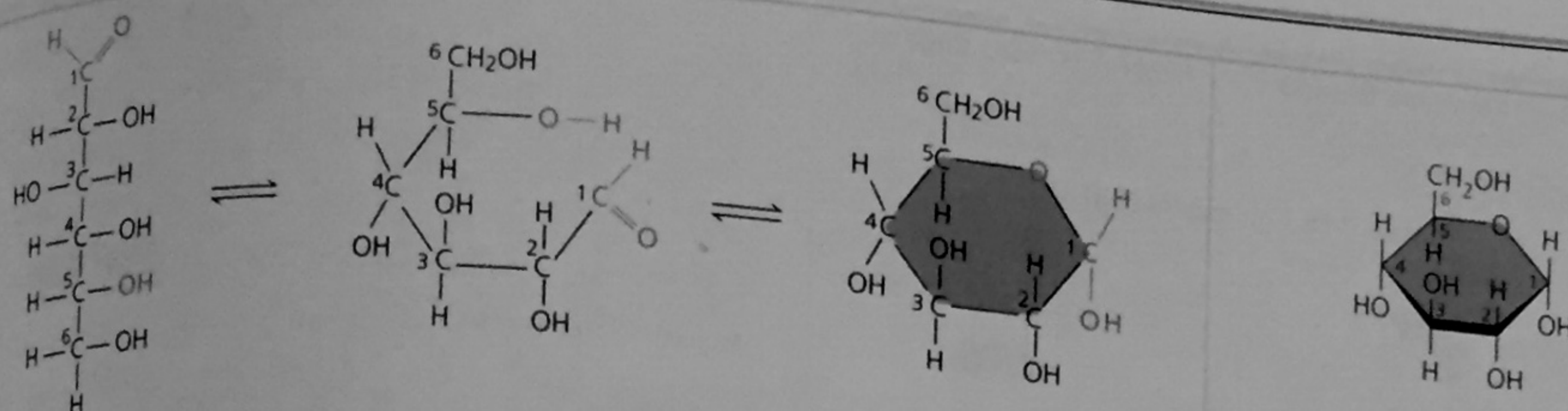
## ۵-۲ کربوهیدرات‌ها به‌عنوان مواد ساختمانی و سوختی به‌کار می‌روند

**کربوهیدرات‌ها** شامل قندها و پلی‌مرهای قندی هستند. ساده‌ترین کربوهیدرات‌ها، مونوساکاریدها و یا به بیانی دیگر *قندهای ساده* می‌باشند. دی‌ساکاریدها یا دو *قندی‌ها* از دو واحد مونوساکاریدی ساخته شده‌اند که با واکنشی تراکمی به‌هم می‌پیوندند. کربوهیدرات‌های درشت‌مولکول را *پلی‌ساکارید* می‌نامند که از تعداد زیادی واحدهای قندی ساخته شده‌اند.

### قندها

**مونوساکاریدها** (از کلمهٔ یونانی *monos* به‌معنی تک و *sacchar* به‌معنی قند گرفته شده است) عموماً دارای فرمول‌های مولکولی هستند که مضربی از واحدهای $CH_2O$ می‌باشند (شکل ۳-۵). گلوکز ($C_6H_{12}O_6$) به‌عنوان معمول‌ترین مونوساکارید در شیمی حیات، از اهمیت زیادی برخوردار است. در ساختمان گلوکز، ویژگی‌های یک قند دیده می‌شود: این مولکول دارای گروه کربونیل ($\rangle C=O$) و چندین گروه هیدروکسیل ($-OH$) است. براساس محل گروه کربونیل قند، **آلدوز** (قند آلدئیدی) و یا **کتوز** (قند کتونی) می‌باشد. برای مثال، گلوکز یک آلدوز، و فروکتوز که ایزومر ساختمانی آن است، یک کتوز به‌شمار می‌رود (بیشتر نام‌های قندها پسوند «اوز» دارند). ویژگی مهم دیگر در گروه‌بندی قندها، اندازهٔ اسکلت کربنی است که از ۳ تا ۷ کربن و حتی بیشتر هم متغیر است. گلوکز، فروکتوز و دیگر قندهای ۶ کربنی را **هگزوز** می‌نامند. **تریوزها** (قندهای سه‌کربنی) و **پنتوزها** (قندهای پنج کربنی) نیز از قندهای رایج هستند.

عامل دیگر گوناگونی قندهای ساده، آرایش فضایی اجزای قند حول کربن‌های نامتقارن است (از فصل ۴ به یاد دارید که کربن نامتقارن، به کربنی گفته می‌شود که با چهار گروه متفاوت پیوند یافته باشد). برای مثال، گلوکز و گالاکتوز تنها در استخلاف اطراف یک کربن نامتقارن با هم اختلاف دارند (کادرهای ارغوانی شکل ۳-۵ را ببینید).



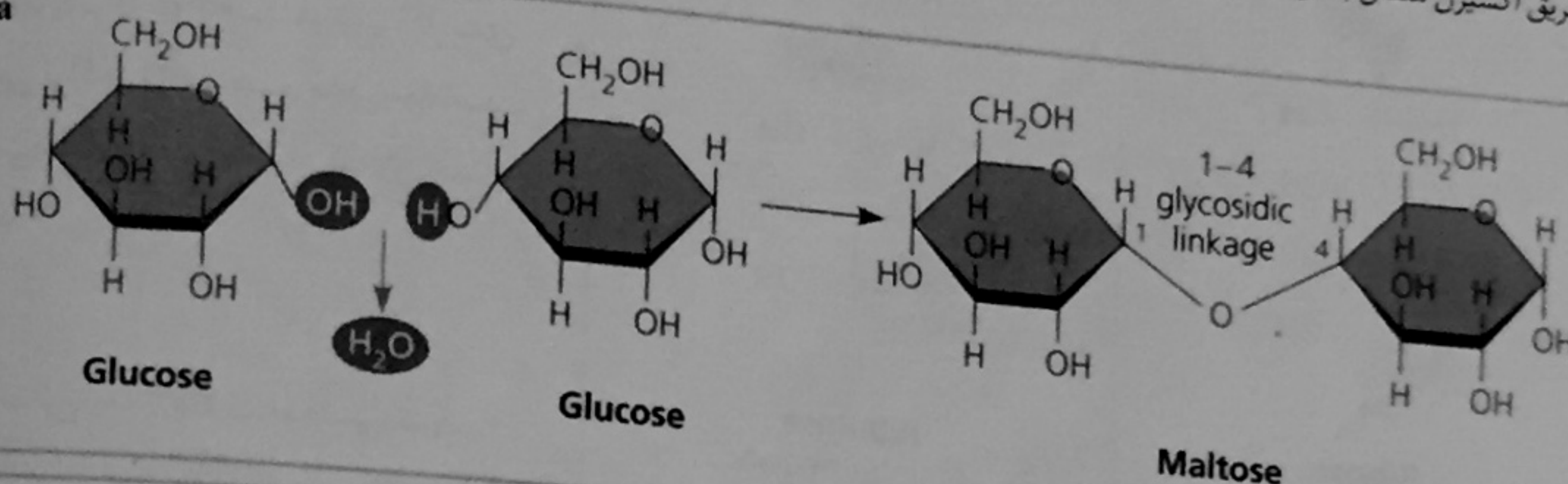

**a) شکل‌های خطی و حلقوی:** تعادل شیمیایی بین ساختمان‌های خطی و حلقوی تمایل زیادی به‌سمت حلقوی شدن دارد. همان‌طوری که نشان داده شده است، کربن‌های قند از شمارهٔ ۱ تا ۶ شماره‌گذاری می‌شوند. برای دستیابی به‌شکل حلقوی گلوکز، کربن شمارهٔ ۱ و اکسیژن متصل به کربن شمارهٔ ۵ به هم وصل می‌شوند.

**b) ساختار حلقوی کوتاه‌شده:** هر گوشه یک کربن را نمایش می‌دهد. لبه‌های نازک‌تر حلقه نمایان‌گر لبهٔ جلویی حلقه است. اجزاء متصل به حلقه، بالا و پایین صفحهٔ حلقه قرار می‌گیرند.

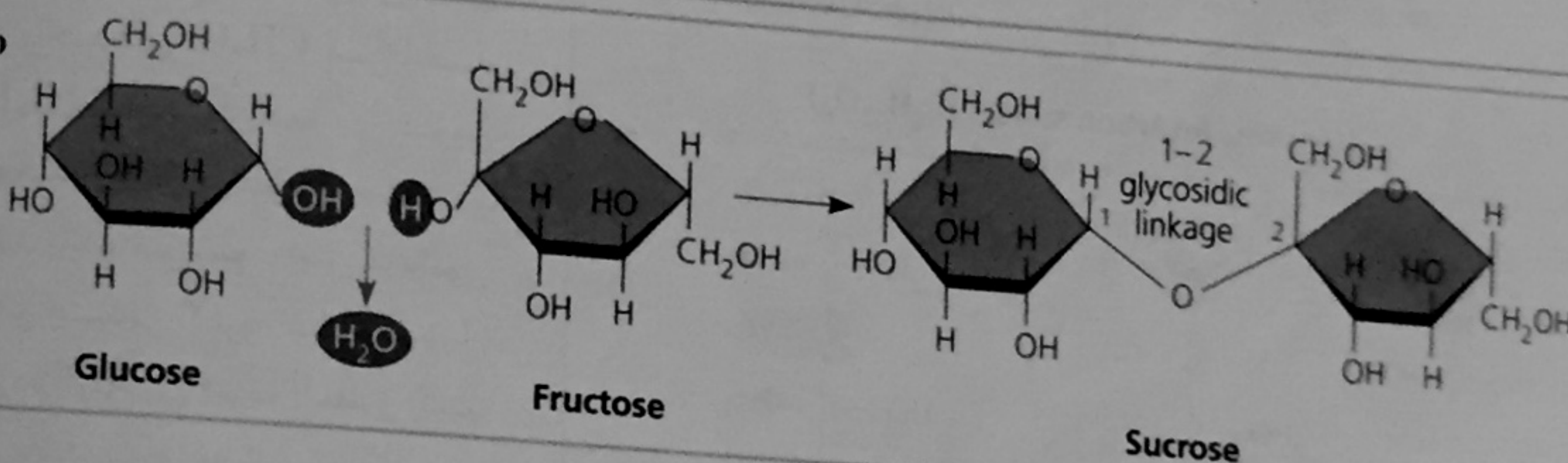
▲ **شکل ۴-۵ اشکال خطی و حلقوی گلوکز.**

**رسم کنید** با شکل خطی فروکتوز آغاز کنید (شکل ۳-۵ را ببینید) و تشکیل حلقهٔ فروکتوز را در دو مرحله رسم کنید. ابتدا، کربن‌ها را از بالای شکل خطی شماره‌گذاری کرده، سپس کربن ۵ را از طریق اکسیژن متصل به آن به کربن ۲ وصل کنید. شمارهٔ کربن‌ها را در حلقه‌های گلوکز و فروکتوز با هم مقایسه کنید.

**a) واکنش دهیدراسیون در تولید مالتوز.** اتصال دو واحد گلوکز، مالتوز را به‌وجود می‌آورد. کربن شمارهٔ ۱ یکی از گلوکزها به کربن شمارهٔ ۴ در گلوکز دوم با یک پیوند گلیکوزیدی به هم وصل می‌شوند. اتصال گلوکزها از طرق مختلف دی‌ساکاریدهای متفاوتی را به‌وجود می‌آورد.




**b) واکنش دهیدراسیون در تولید ساکارز.** ساکارز دی‌ساکاریدی است که از گلوکز و فروکتوز به‌دست می‌آید. اگرچه فروکتوز یک هگزوز (قند ۶ کربنه) مشابه گلوکز است، اما به‌شکل یک حلقهٔ پنج‌ضلعی وجود دارد.




▲ **شکل ۵-۵ نمونه‌هایی از سنتز دی‌ساکارید.**

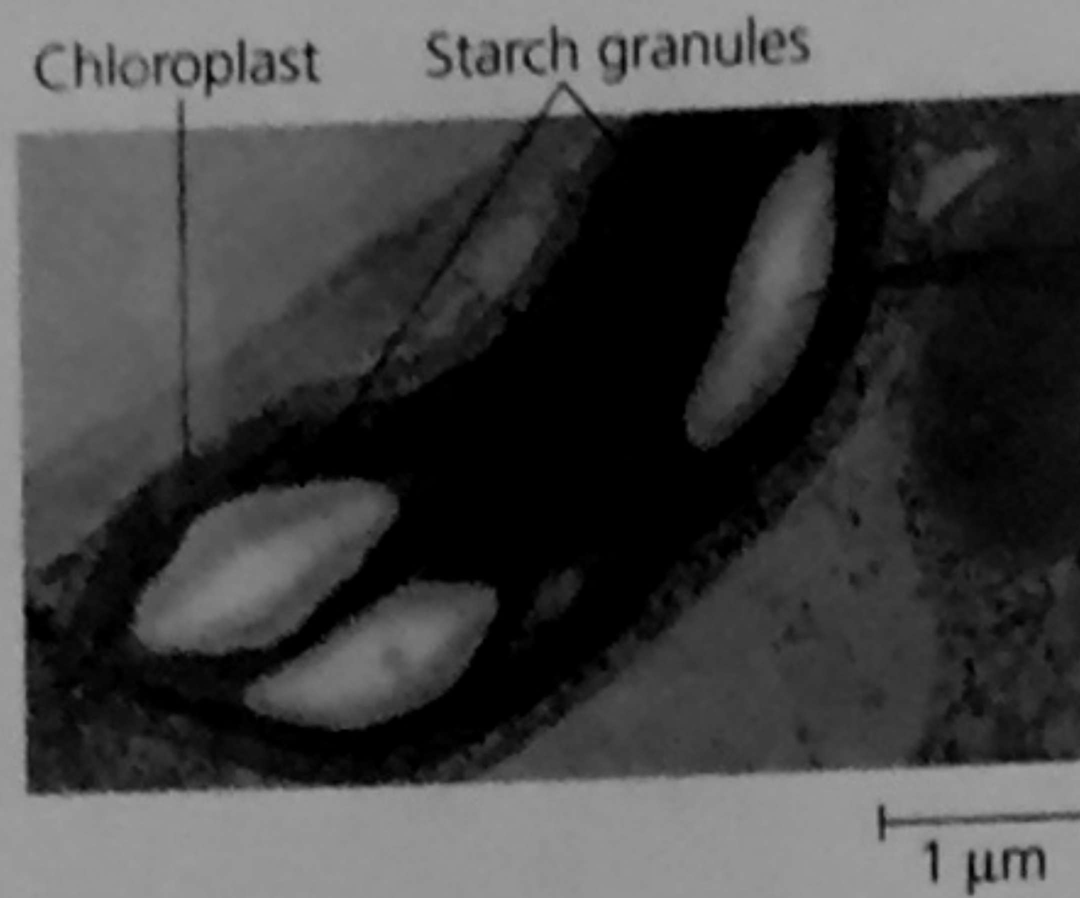
**رسم کنید** با ارجاع به شکل ۴-۵، کربن‌های هرکدام از قندها را در این شکل شماره‌گذاری کنید، نشان دهید که چگونه این شماره گذاری با نام پیوند گلیکوزیدی در هر دی‌ساکارید مطابقت دارد.

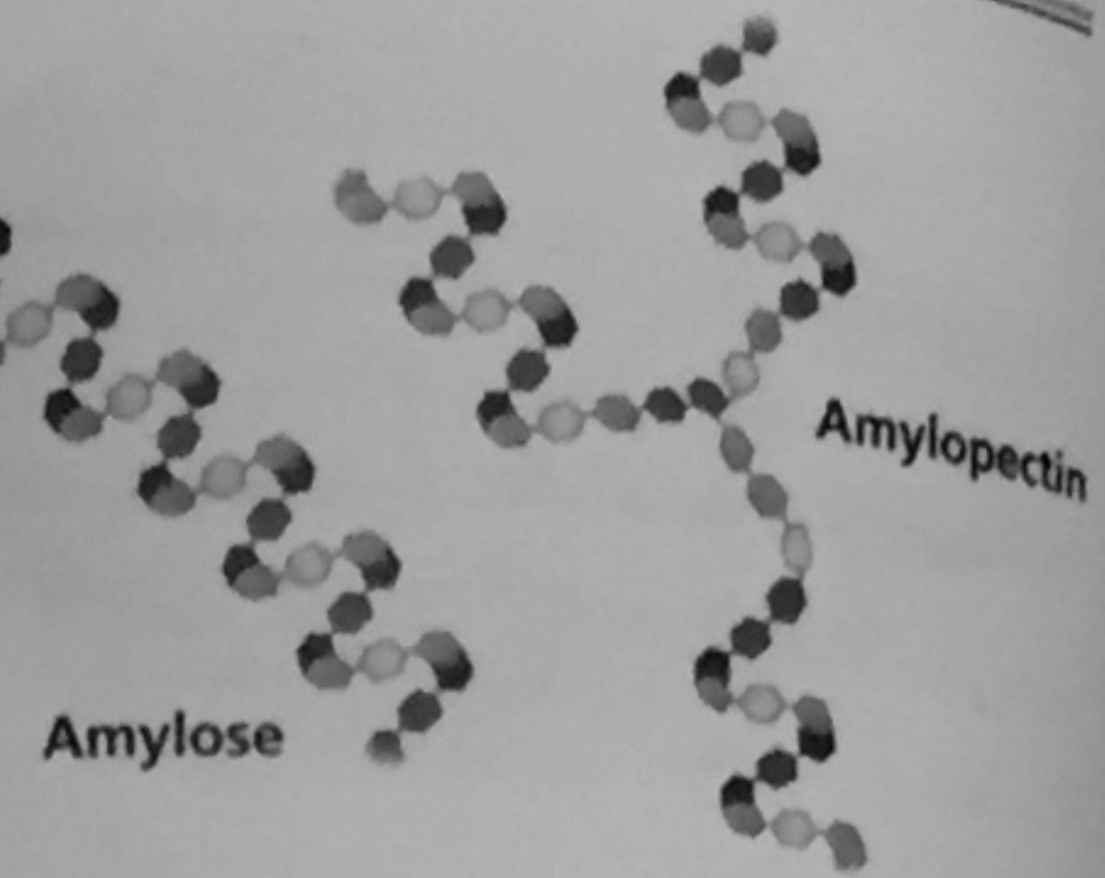
چگونه یک اختلاف کوچک در دو قند تا این اندازه مهم است که شکل‌ها و رفتارهای گوناگون نشان می‌دهند. اگرچه رایج است که گلوکز را با اسکلت کربنی خطی رسم نماییم اما این نوع رسم برای قندها خیلی درست نیست. در محلول‌های آبی، مولکول‌های گلوکز، درست همانند سایر قندها، به شکل حلقوی هستند (شکل ۴-۵).

مونوساکاریدها و به‌ویژه گلوکز، غذای اصلی سلول‌ها به‌شمار می‌روند. در فرایند تنفس سلولی، سلول‌ها انرژی مورد نیاز خود را از مولکول‌های گلوکز به‌دست می‌آورند. مولکول‌های قندی نه‌تنها به عنوان سوخت عمدهٔ سلولی به‌کار می‌روند بلکه، اسکلت کربنی آنها به‌عنوان مادهٔ خام، برای ساخت دیگر انواع مولکول‌های آلی کوچک، همچون آمینواسیدها و اسیدهای چرب، به‌کار می‌روند. مولکول‌های قندی که استفاده نشوند، عموماً به‌عنوان مونومر در سنتز دی‌ساکاریدها و پلی‌ساکاریدها استفاده می‌شوند.

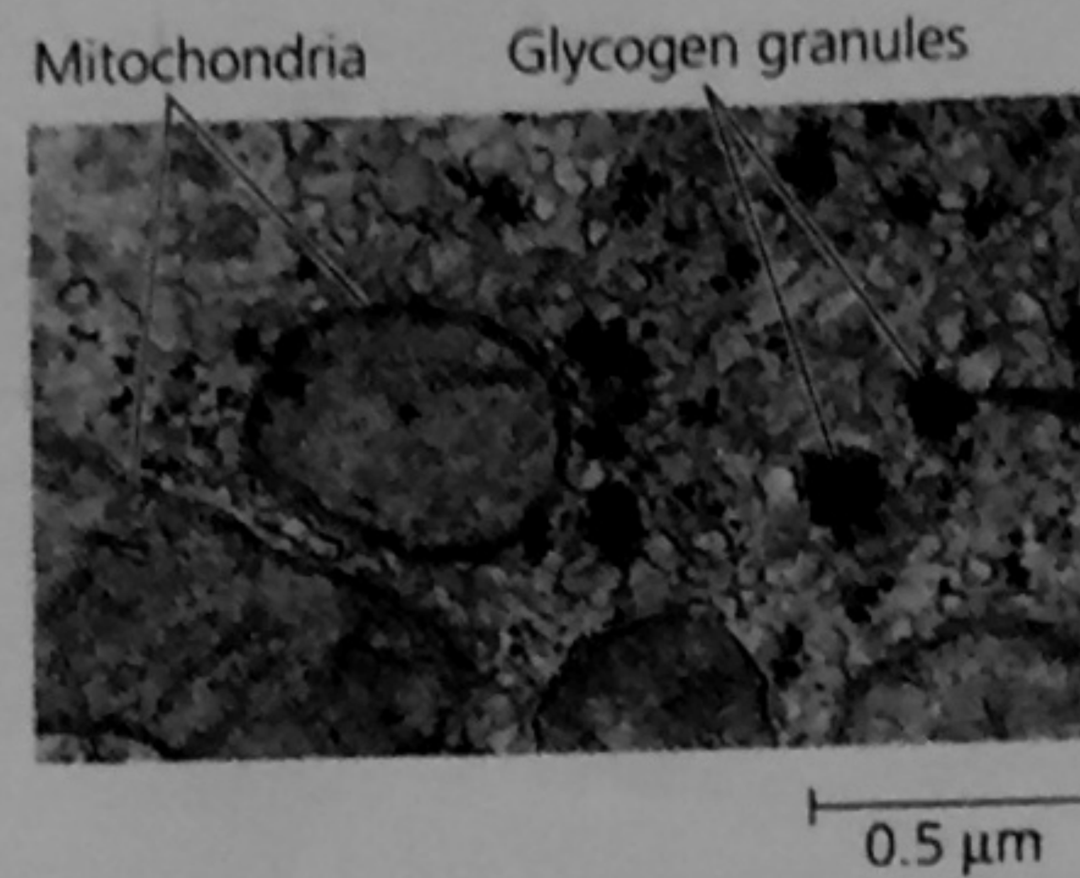
یک دوقندی یا **دی‌ساکارید**[1] شامل دو مونوساکارید است که با پیوند **گلیکوزیدی**[2] (پیوند کووالانسی بین دو مونوساکارید) و به کمک واکنش آب‌دهی، به‌هم پیوند شده‌اند. برای مثال، مالتوز، دوقندی

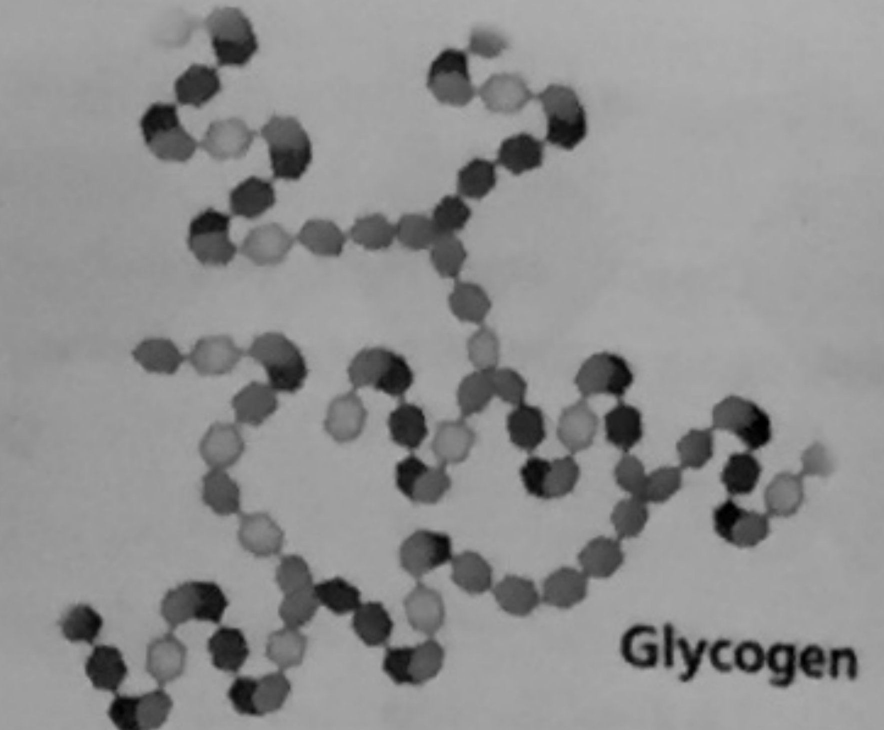
1- Disaccharide
2- Glycosidic linkage




a) **نشاسته: یک پلی‌ساکارید گیاهی.** این میکروگراف، قسمتی از یک سلول گیاهی به‌همراه کلروپلاست، اندامکی که در آن گلوکز ساخته و سپس به‌صورت نشاسته ذخیره می‌شود را نشان می‌دهد. آمیلوز (غیرشاخه‌ای) و آمیلوپکتین (شاخه‌دار) دو نوع نشاسته هستند.




b) **گلیکوژن: یک پلی‌ساکارید جانوری.** همان‌طوری‌که در این میکروگراف، که از یک سلول کبدی گرفته شده است، می‌بینید، سلول‌های جانوری گلیکوژن را به‌صورت دستجات دانه‌ای منظم و منسجم در سلول‌های کبد و ماهیچه ذخیره می‌کنند. میتوکندری، اندامکی سلولی است که به تجزیهٔ گلوکز آزاد شده از گلیکوژن کمک می‌کند. توجه داشته باشید که گلیکوژن شاخه‌دارتر از آمیلوپکتین است.

▲ **شکل ۶- ۵ پلی‌ساکاریدهای ذخیره‌ای گیاهان و جانوران.** *این مثال‌ها شامل نشاسته و گلیکوژن هستند که از مونومرهای گلوکز ساخته می‌شوند و به‌صورت شش‌ضلعی نشان داده شده‌اند. به‌خاطر ساختار مولکولی، زنجیره‌های پلی‌مری تمایل به تشکیل مارپیچ دارند.*

است که از به‌هم چسبیدن دو مولکول گلوکز ساخته می‌شود (شکل 5a -۵). مالتوز به‌عنوان قند مالت در تهیهٔ آب‌جو استفاده می‌شود. رایج‌ترین دوقندی، ساکارز است که قند چغندر به‌شمار می‌رود. مونومرهای سازندهٔ آن گلوکز و فروکتوز هستند (شکل 5b -۵). بیشتر گیاهان، کربوهیدرات‌ها را از برگ‌هایشان به ریشه و سایر اندام‌های غیرفتوسنتزی به‌شکل ساکارز انتقال می‌دهند. لاکتوز یا قند شیر، دوقندی دیگری است که در آن یک گلوکز به مولکول گالاکتوز پیوند یافته است.

## پلی‌ساکاریدها

**پلی‌ساکاریدها**[1]، درشت‌مولکول‌هایی به‌صورت پلی‌مری از چند صد تا چند هزار واحد قندی متصل‌شده با پیوند گلیکوزیدی هستند. برخی از پلی‌ساکاریدها به‌عنوان مواد ذخیره‌ای به‌کار می‌روند و با هیدرولیز شدن، قند مورد نیاز سلول‌ها را فراهم می‌کنند. پلی‌ساکاریدهای دیگر به‌عنوان مواد سازندهٔ ساختارهای نگهدارندهٔ سلول و یا کل بدن جاندار استفاده می‌شوند. ساختار و عملکرد یک پلی‌ساکارید با مونومرهای قندی تشکیل‌دهنده و نیز جایگاه پیوندهای گلیکوزیدی آن تعیین می‌شود.

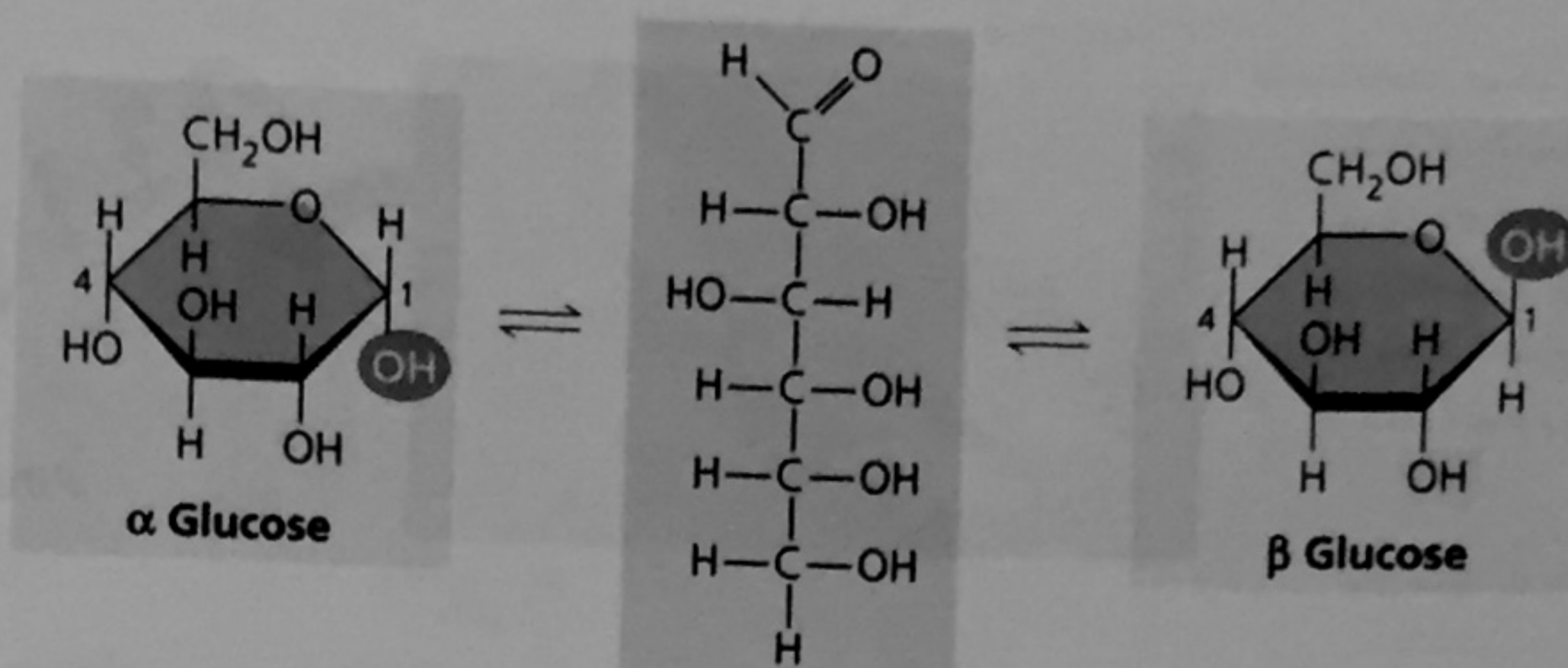
### پلی‌ساکاریدهای ذخیره‌ای

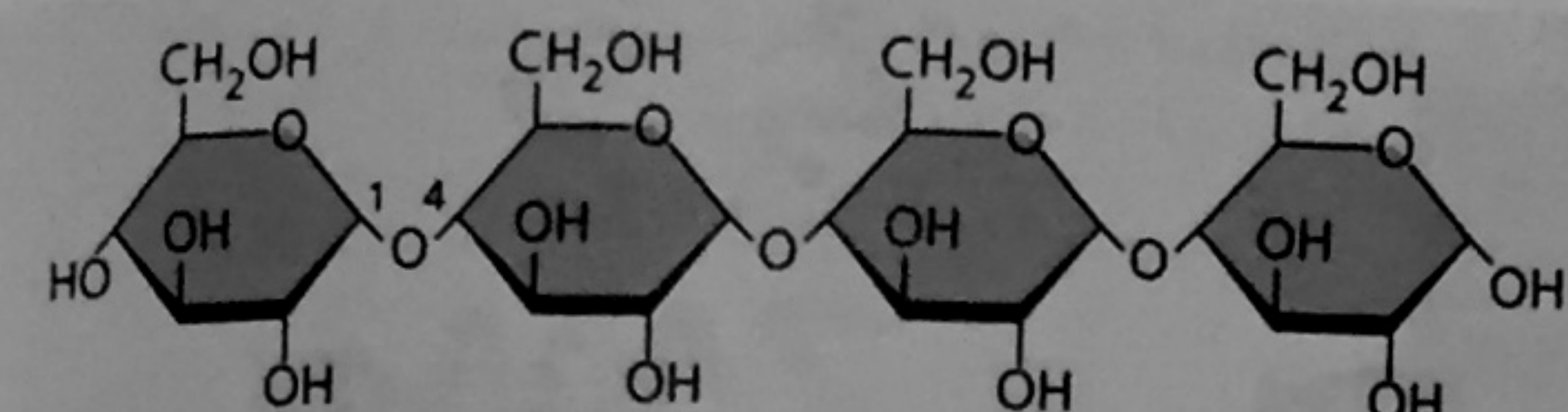
**نشاسته**[2] به‌عنوان پلی‌ساکارید ذخیره‌ای گیاهان، پلی‌مری است که به‌طور کامل از مونومرهای گلوکز ساخته شده است. بیشتر این مونومرها با اتصالات ۴←۱ (کربن ۱ به کربن ۴) به‌هم پیوند شده‌اند، درست همانند واحدهای گلوکز در مالتوز (شکل 5a -۵ را ببینید). زاویهٔ این پیوندها منجر به مارپیچی شدن پلی‌مر فوق می‌گردد. ساده‌ترین شکل نشاسته، *آمیلوز* است که بدون شاخه است. *آمیلوپکتین*، شکل پیچیدهٔ نشاسته است که در ساختار آن، پیوندهای کربن ۶←۱ در محل انشعاب دیده می‌شود.

گیاهان، نشاسته را به‌صورت دانه‌هایی در ساختارهای سلولی به‌نام پلاستیدها (از جمله کلروپلاست‌ها) ذخیره می‌کنند (شکل 6a -۵). ساختن نشاسته، گیاه را قادر می‌سازد تا گلوکز مازاد را ذخیره نماید. از آنجا که گلوکز، سوخت اصلی سلولی است پس نشاسته، نمایانگر انرژی اندوخته شده است. قندها از این منبع کربوهیدراتی به کمک فرایند هیدرولیز جدا می‌شوند؛ فرایندی که باعث شکستن پیوندهای بین مونومرهای گلوکز می‌گردد. بیشتر جانوران و نیز انسان، دارای آنزیم‌هایی هستند که می‌توانند نشاستهٔ گیاهی را هیدرولیز نموده و واحدهای گلوکز را به‌عنوان مادهٔ غذایی در دسترس سلول قرار دهند. غدهٔ سیب‌زمینی و دانه‌ها (میوهٔ گندم، جو، برنج و سایر غلات) منابع عمدهٔ نشاسته در رژیم غذایی انسان به‌شمار می‌روند.

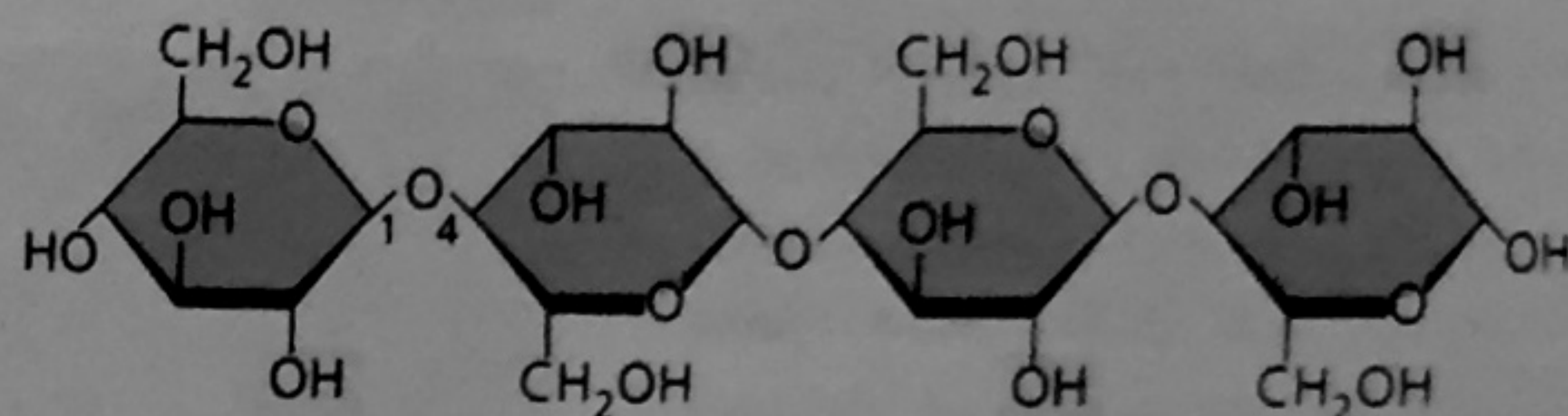
1 - Polysaccharides
2 - Starch

a) **ساختارهای آلفا و بتای حلقهٔ گلوکز.** این دو فرم قابل تبدیل گلوکز، در جایگاه گروه هیدروکسیل (رنگ آبی) متصل به کربن شمارهٔ ۱ با هم تفاوت دارند.




b) **نشاسته: اتصال ۴ ← ۱ مونومرهای α- گلوکز.** تمامی مونومرها جهت‌یابی مشابهی دارند. جایگاه گروه‌های OHی که با رنگ زرد مشخص شده‌اند را در این شکل با آنهایی که در سلولز (c) وجود دارند مقایسه کنید.




c) **سلولز: اتصال ۴ ← ۱ مونومرهای β- گلوکز.** در سلولز هر مونومر β -گلوکز نسبت به مونومر محاورش به‌صورت وارونه قرار گرفته است.

▲ شکل ۷ - ۵ **ساختارهای نشاسته و سلولز.**

Cell wall

10 µm

Cellulose microfibrils in a plant cell wall

0.5 µm

Microfibril

About 80 cellulose molecules associate to form a microfibril, the main architectural unit of the plant cell wall.

Cellulose molecules

Parallel cellulose molecules are held together by hydrogen bonds between hydroxyl groups attached to carbon atoms 3 and 6.

β Glucose monomer

A cellulose molecule is an unbranched β glucose polymer.

▲ شکل ۸ - ۵ **آرایش سلولز در دیواره‌های سلول گیاهی.**

جانوران، پلی‌ساکاریدها را به‌شکل **گلیکوژن**[1] ذخیره می‌کنند که پلی‌مری از واحدهای گلوکز و مشابه آمیلوپکتین است ولی انشعابات آن بیشتر می‌باشد (شکل ‎6b‎ - ۵). انسان‌ها و دیگر مهره‌داران، گلیکوژن را در کبد و سلول‌های ماهیچه‌ای ذخیره می‌کنند. هیدرولیز گلیکوژن در این سلول‌ها، مقدار گلوکز را هنگام نیاز به قند افزایش می‌دهد. این سوخت ذخیره‌ای نمی‌تواند به‌مدت طولانی به‌شکل ذخیره‌ای باقی بماند. به‌عنوان مثال در انسان، همهٔ گلیکوژن اندوخته شده در یک روز، اگر در طول روز با خوردن غذا جایگزین نشود، به پایان می‌رسد.

### پلی‌ساکاریدهای ساختمانی

جانداران، ترکیبات استحکامی را از پلی‌ساکاریدهای ساختمانی می‌سازند. برای مثال، پلی‌ساکارید **سلولز**[2]، بخش اصلی دیواره‌های سفت و محکم پیرامون سلول‌های گیاهی را می‌سازد. در یک مقیاس کلی، گیاهان حدود $۱۰^{۱۱}$ (۱۰۰ میلیارد) تن سلولز در سال می‌سازند که فراوان‌ترین ترکیب آلی در روی زمین به‌شمار می‌رود. همانند نشاسته، سلولز نیز پلی‌مری از واحدهای گلوکز است، اما پیوند گلیکوزیدی آن بین دو مونومر قندی، با نشاسته فرق دارد. این اختلاف بر این اساس است که دو حلقهٔ غیریکسان گلوکز در آن وجود دارد (شکل ‎7a‎ - ۵). هنگامی که گلوکز تشکیل حلقه می‌دهد، گروه هیدروکسیل به کربن شمارهٔ ۱ در مکان بالایی یا پایینی صفحهٔ حلقه می‌تواند پیوند شود. این دو حلقهٔ گلوکز را به‌ترتیب $\beta$ (بتا) و $\alpha$ (آلفا) می‌نامند. در نشاسته، همهٔ مونومرهای گلوکز در شکل فضایی $\alpha$ هستند (شکل ‎7b‎ - ۵)، آرایشی که در شکل ۴ - ۵ و ۵ - ۵ دیدیم. برخلاف نشاسته، مونومرهای گلوکز در سلولز دارای شکل فضایی $\beta$ هستند که باعث می‌شود هر مونومر گلوکز نسبت به گلوکز کناری خود به‌صورت وارونه قرار گیرد (شکل ‎7c‎ - ۵).

تفاوت پیوندهای گلیکوزیدی در نشاسته و سلولز، به این دو مولکول شکل‌های سه‌بعدی متمایزی می‌دهد. درحالی‌که یک مولکول نشاسته کاملاً فرم مارپیچی دارد، مولکول سلولز کاملاً مستقیم است (بدون شاخه می‌باشد) و گروه‌های هیدروکسیل آن آمادگی پذیرش پیوند هیدروژنی را دارند. این پیوندها به کمک گروه‌های هیدروکسیل مولکول‌های دیگر سلولز که به‌صورت موازی با رشتهٔ اول قرار گرفته‌اند، انجام می‌شود. در دیوارهٔ سلول‌های گیاهی، مولکول‌های سلولز موازی هم قرار گرفته و واحدهایی به‌نام ریزرشته‌ها[3] (میکروفیبریل) را ایجاد نموده‌اند (شکل ۸ - ۵). این ریزرشته‌های طناب مانند، ترکیبات ساختاری محکمی برای گیاهان و نیز انسان‌ها به‌شمار می‌آیند. انسان‌ها از چوب که مملو از سلولز است به‌عنوان الوار استفاده می‌کنند.

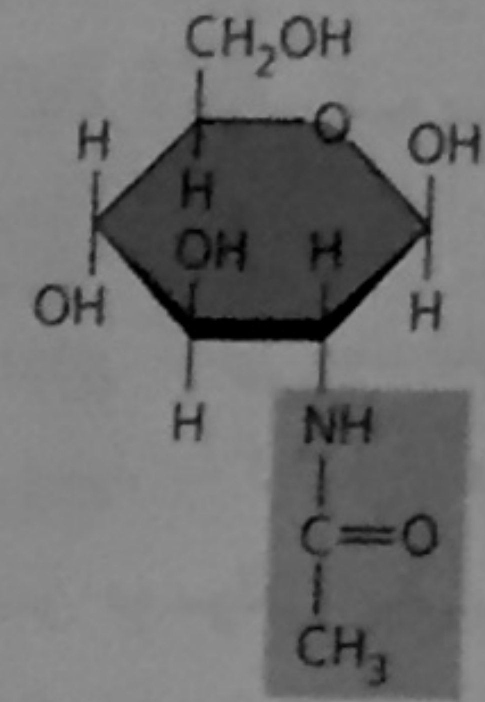
آنزیم‌هایی که نشاسته را با هیدرولیز کردن پیوندهای $\alpha$ گوارش می‌دهند نمی‌توانند پیوندهای $\beta$ در سلولز را گوارش دهند، که این به‌دلیل ساختارهای کاملاً متفاوت این دو مولکول است. در واقع، جانداران کمی هستند که آنزیم گوارش‌دهندهٔ سلولز را دارا هستند. انسان‌ها این آنزیم را ندارند و سلولز درون رژیم غذایی آنها از لولهٔ گوارشی عبور کرده و به شکل مدفوع، خارج می‌گردد. اما در این مسیر، سلولز، دیوارهٔ لولهٔ گوارشی را ساییده و آن را تحریک می‌کند که مخاط ترشح نماید و این مخاط ترشحی به‌عبور آسان غذا از لولهٔ گوارشی کمک می‌نماید. بنابراین، اگرچه سلولز مادهٔ غذایی انسان‌ها نیست، اما کار مهمی در ایجاد یک رژیم سالم برای انسان دارد. بیشتر میوه‌های تازه، سبزی‌ها و دانه‌ها غنی از سلولز هستند. در بسته‌های غذایی، منظور از «فیبرهای نامحلول[4]»، سلولز است.

برخی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند سلولز را گوارش دهند و آن را به واحدهای مونومری گلوکز تبدیل نمایند. گاو، دارای باکتری‌های گوارش‌دهندهٔ سلولز در سیرابی، یعنی بخش ابتدایی معدهٔ خود است. باکتری‌ها، سلولز یونجه و علف‌ها را هیدرولیز کرده و گلوکز حاصل را به دیگر مواد غذایی تبدیل می‌کنند که توسط گاو استفاده می‌شود. به همین ترتیب، یک موریانه خود قادر به گوارش سلولز نیست، اما در رودهٔ خود میکروب‌هایی دارد که توانایی گوارش چوب را دارند. برخی از قارچ‌ها نیز می‌توانند سلولز را گوارش دهند و درنتیجه به بازیافت عناصر شیمیایی در اکوسیستم زمین کمک می‌کنند.

پلی ساکارید مهم دیگر، **کیتین**[5] است. کیتین، کربوهیدرات مورد استفادهٔ بندپایان (حشرات، عنکبوت‌ها، سخت‌پوستان و جانوران وابسته) است، که از آن در ساخت اسکلت خارجی‌شان استفاده می‌کنند (شکل ۹ - ۵). اسکلت خارجی، بخش سفت و سختی است که بخش‌های نرم جانور را در برمی‌گیرد. کیتین خالص حالت چرمی دارد، اما هنگامی که با نمک کربنات کلسیم پوشانده شود، سفت و سخت می‌گردد. همچنین، کیتین در بسیاری از قارچ‌ها یافت می‌شود؛ قارچ‌ها این پلی‌ساکارید را بیش از سلولز به‌عنوان مادهٔ سازندهٔ دیوارهٔ سلولی‌شان به‌کار می‌برند. کیتین شباهت بسیاری به سلولز دارد به‌جز اینکه، مونومر گلوکزی کیتین دارای بخش نیتروژن‌دار است (شکل ۹ - ۵ را ببینید).

1 - Glycogen
2 - Cellulose
3 - Microfibrils
4 - Insoluble fiber
5 - Chitin

می‌شوند که دارای یک ویژگی مهم مشترک می‌باشند: آنها *آب‌دوست* نیستند و یا تمایل کمی به آب دارند. رفتار آب‌گریزی لیپیدها برپایهٔ ساختار مولکولی آنها است. اگر چه لیپیدها دارای پیوندهای قطبی در رابطه با اکسیژن هستند ولی بیشتر از هیدروکربن‌ها ساخته شده‌اند. این مولکول‌ها کوچک‌تر از درشت‌مولکول‌های (پلی‌مرهای) واقعی بوده و از لحاظ شکل و عملکرد بسیار گوناگون هستند. موم‌ها و رنگ‌دانه‌های ویژه نیز جزء لیپیدها می‌باشند ولی ما بیشتر بر روی انواع مهم‌تر لیپیدهای زیستی متمرکز می‌شویم: *چربی‌ها*، *فسفولیپیدها* و *استروئیدها*.






کیتین اسکلت بندپایان را تشکیل می‌دهد. این جیرجیرک در حال پوست‌اندازی است. پوستهٔ قدیمی‌اش را خارج کرده و به فرم بالغ در می‌آید.



از کیتین برای ساختن نخ‌های جراحی محکم و انعطاف‌پذیر استفاده می‌کنند که پس از بهبود زخم، تجزیه می‌گردد.

▲ شکل ۹-۵ **کیتین، پلی‌ساکارید ساختمانی.**

## پرسش‌های مبحث ۲-۵

۱. فرمول مونوساکاریدی با سه اتم کربن را بنویسید.

۲. یک واکنش آب‌دهی دو مولکول گلوکز را به‌هم پیوند داده تا مالتوز بسازد. فرمول گلوکز $C_6H_{12}O_6$ است. فرمول مالتوز چیست؟

۳. **چه می‌شد اگر؟** اگر به یک گاو آنتی‌بیوتیکی بدهیم که تمامی پروکاریوت‌های معدهٔ آن‌را از بین ببرد چه اتفاقی می‌افتد؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

## ۳-۵ لیپیدها، گروه گوناگونی از مولکول‌های آب‌گریز هستند

لیپیدها، دسته‌ای از مولکول‌های زیستی هستند که به‌شکل پلی‌مر نیستند. ترکیباتی با نام **لیپیدها**[1] در کنار یکدیگر گروه‌بندی

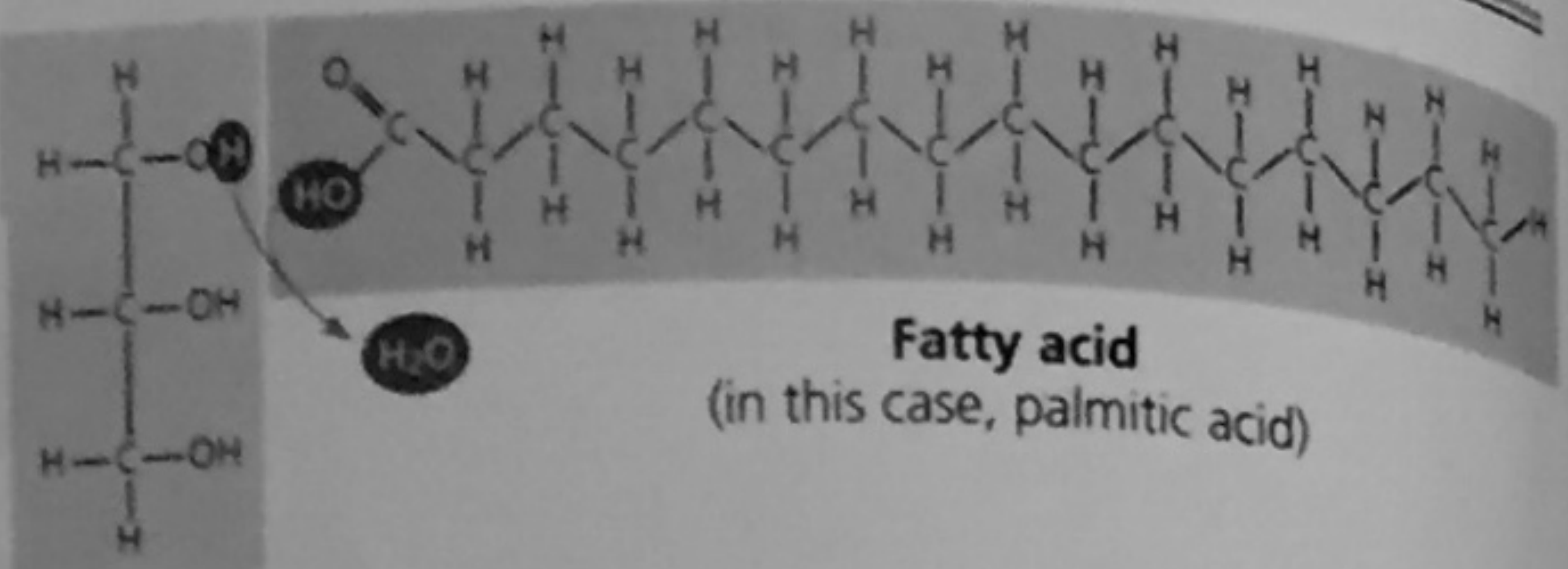
### چربی‌ها

اگرچه چربی‌ها پلی‌مر نیستند ولی مولکول‌های بزرگی هستند که از ترکیب مولکول‌های کوچک‌تر در واکنش‌های آب‌دهی ساخته می‌شوند. یک **چربی**[2]، از دو نوع مولکول کوچک‌تر به‌نام‌های گلیسرول و اسیدهای چرب ساخته شده است (شکل ۱۰a-۵). **گلیسرول**، الکلی با سه اتم کربن است که هرکدام از این سه اتم کربن دارای گروه هیدروکسیل هستند. یک **اسید چرب**[3] دارای اسکلت کربنی بلندی با ۱۶ تا ۱۸ اتم کربن است. در پایان هر اسید چرب یک گروه کربوکسیل وجود دارد. گروه کربوکسیل، بخش عملکردی اسید چرب و عامل نام‌گذاری این اسیدها می‌باشد. یک بخش هیدروکربنی بلند به گروه کربوکسیل متصل شده است. پیوندهای C–H غیرقطبی، در زنجیره‌های هیدروکربنی اسیدهای چرب، دلیلی بر آب‌گریز بودن چربی‌ها می‌باشد. چربی‌ها از آب جدا می‌شوند، این به‌خاطر تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب است که منجر به خارج کردن چربی‌ها از آب می‌گردند. مثال معمول از این فرایند، جدا شدن روغن گیاهی (چربی مایع) از محلول آبی سرکه در ظرف سالاد می‌باشد.

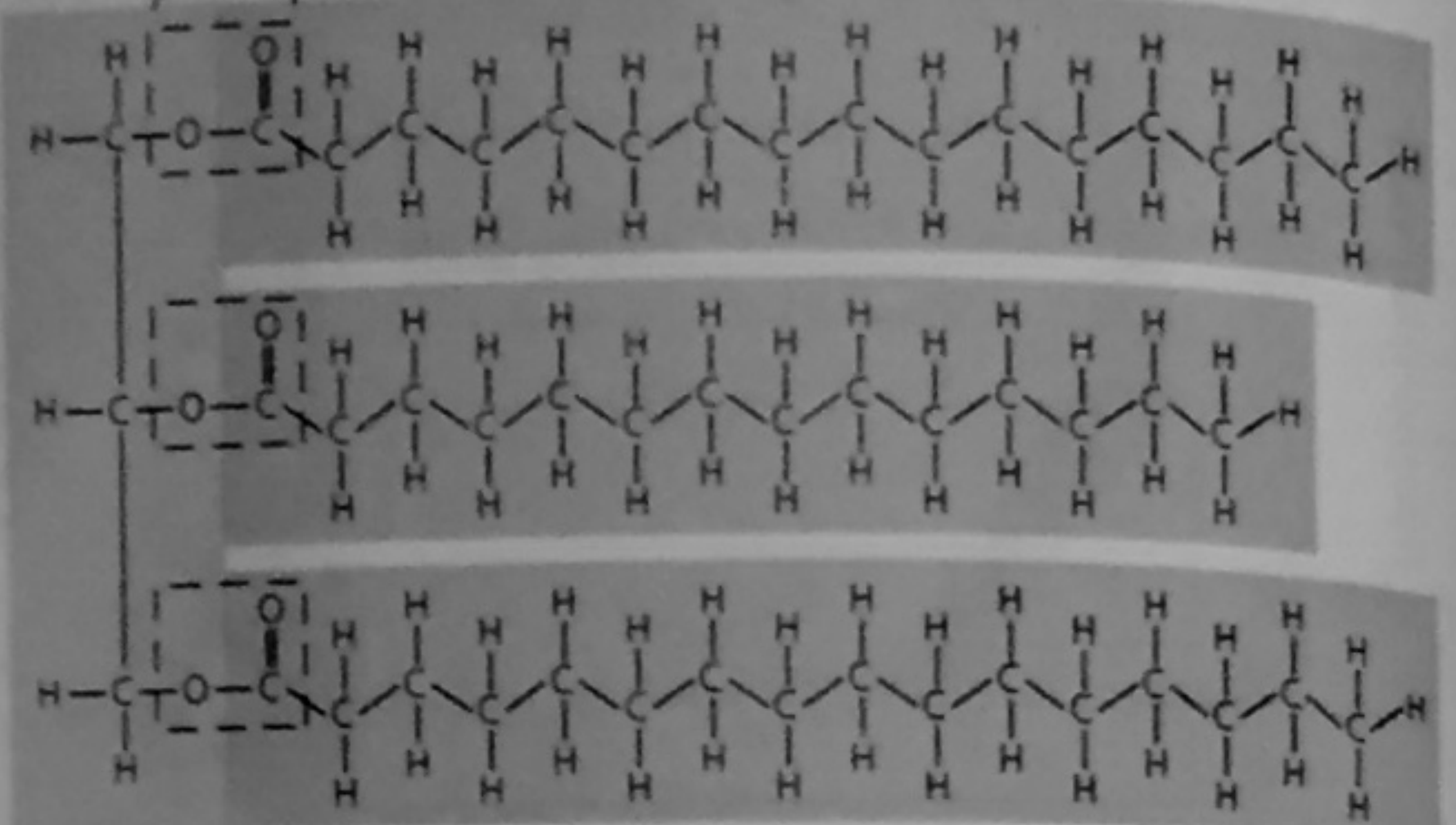
در ساخته شدن یک چربی، سه اسید چرب با پیوند استری به یک مولکول گلیسرول متصل می‌شوند. پیوند استری، پیوند بین گروه هیدروکسیل و گروه کربوکسیل است. چربی حاصل را یک **تری‌اسیل گلیسرول**[4] می‌نامند که از سه اسید چرب پیوند شده به یک مولکول گلیسرول ساخته شده است (نام دیگر به‌کار رفته برای چربی، تری‌گلیسرید است، نامی که در فهرست مواد تشکیل‌دهندهٔ فرآورده‌های غذایی بسته‌بندی شده به‌کار می‌رود). اسیدهای چرب در یک چربی می‌توانند یکسان باشند، مانند آن‌چه که در شکل ۱۰b-۵ دیده می‌شود و یا اینکه می‌توانند از دو یا سه اسید چرب گوناگون تشکیل شده باشند.

1 - Lipids

2 - Fat
3 - Fatty acid
4 - Triacyl glycerol




(a) یکی از سه واکنش آب‌دهی در سنتز یک چربی




(b) مولکول چربی (تری‌اسیل‌گلیسرول)

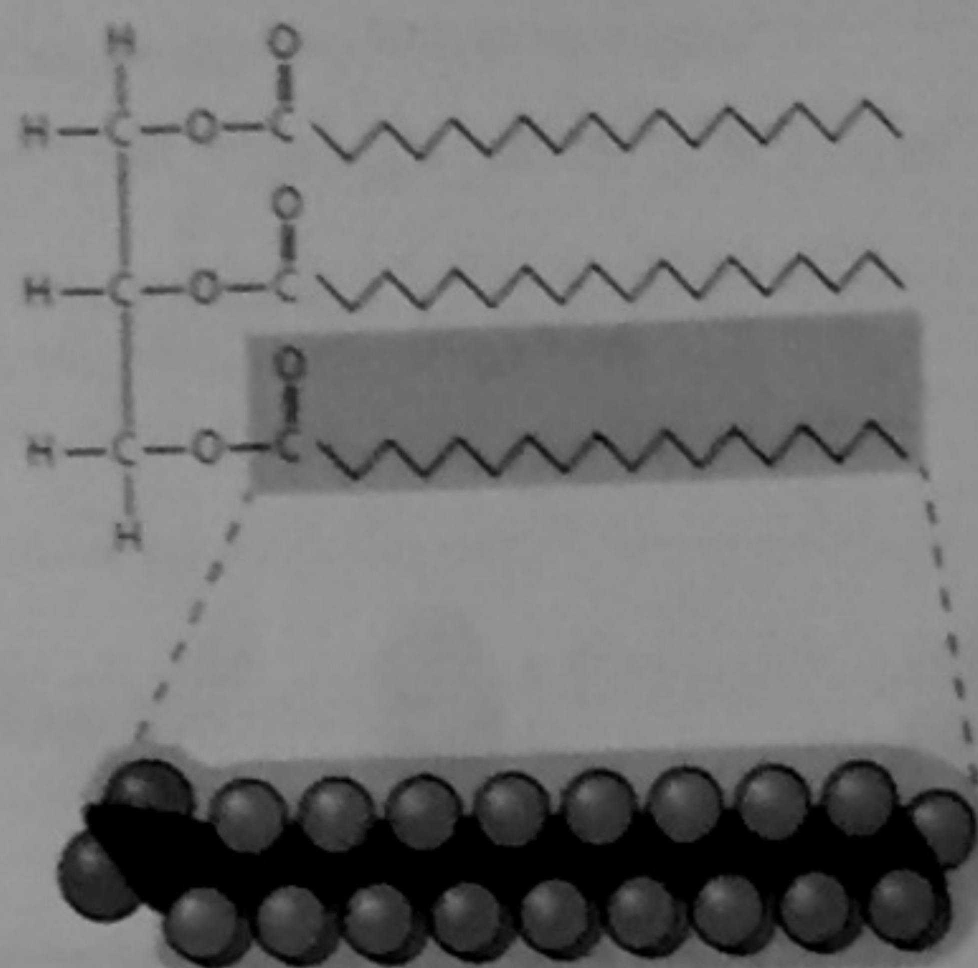
▲ **شکل ۱۰-۵ روش ساخت و ساختمان یک چربی، یا تری‌اسیل‌گلیسرول.** واحدهای سازندهٔ مولکولی یک چربی شامل یک مولکول گلیسرول و سه مولکول اسید چرب است. (a) یک مولکول آب از پیوند هر اسید چرب با گلیسرول آزاد می‌شود. (b) یک مولکول چربی با سه اسید چرب، که دوتای آنها یکسان هستند. کربن‌های اسیدهای چرب به‌صورت زیگ‌زاگ هستند که نشان‌دهندهٔ آرایش واقعی چهار پیوند اطراف هر اتم کربن است (شکل ۳a-۴ را ببینید).

اسیدهای چرب از لحاظ اندازه، تعداد و محل پیوندهای دوگانه متفاوتند. واژهٔ چربی‌های اشباع و چربی‌های غیر اشباع به‌طور رایج در علم تغذیه به‌کار می‌رود (شکل ۱۱-۵). این واژه‌ها به ساختار زنجیره‌های هیدروکربنی اسیدهای چرب اشاره دارد. اگر هیچ پیوند دوگانه‌ای بین اتم‌های کربن سازندهٔ اسید چرب نباشد، آنگاه حداکثر اتم‌های هیدروژن قادر به پیوند با اسکلت کربنی هستند. چنین ساختاری با هیدروژن اشباع می‌گردد، به‌گونه‌ای که اسید چرب حاصل را یک **اسیدچرب اشباع**[1] می‌نامند (شکل ۱۱a-۵). یک **اسید چرب غیراشباع**[2] دارای یک یا چند پیوند دوگانه است که با حذف اتم‌های هیدروژن از اسکلت کربنی ایجاد می‌شوند. اسید چرب غیراشباع در زنجیرهٔ هیدروکربنی خود خمیدگی خواهد داشت (شکل ۱۱b-۵).

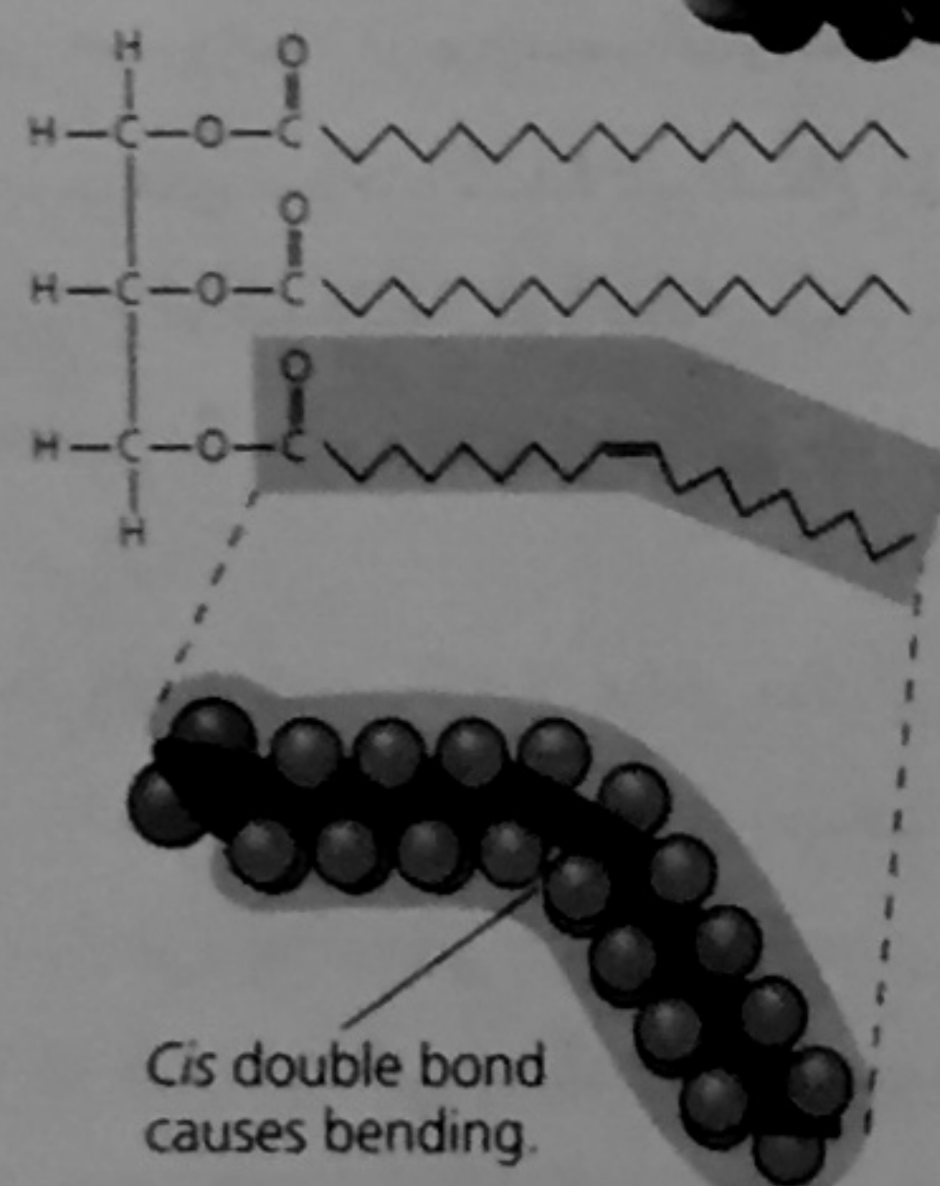
چربی ساخته شده از اسیدهای چرب اشباع را چربی اشباع شده می‌گویند. بیشتر چربی‌های جانوری از نوع اشباع شده هستند. زنجیره‌های هیدروکربنی اسیدهای چرب در این مولکول‌ها، یا همان دنباله‌های مولکول‌های چربی، بدون پیوندهای دوگانه هستند و این

1 - Saturated fatty acid
2 - Unsaturated fatty acid

**(a) چربی اشباع**

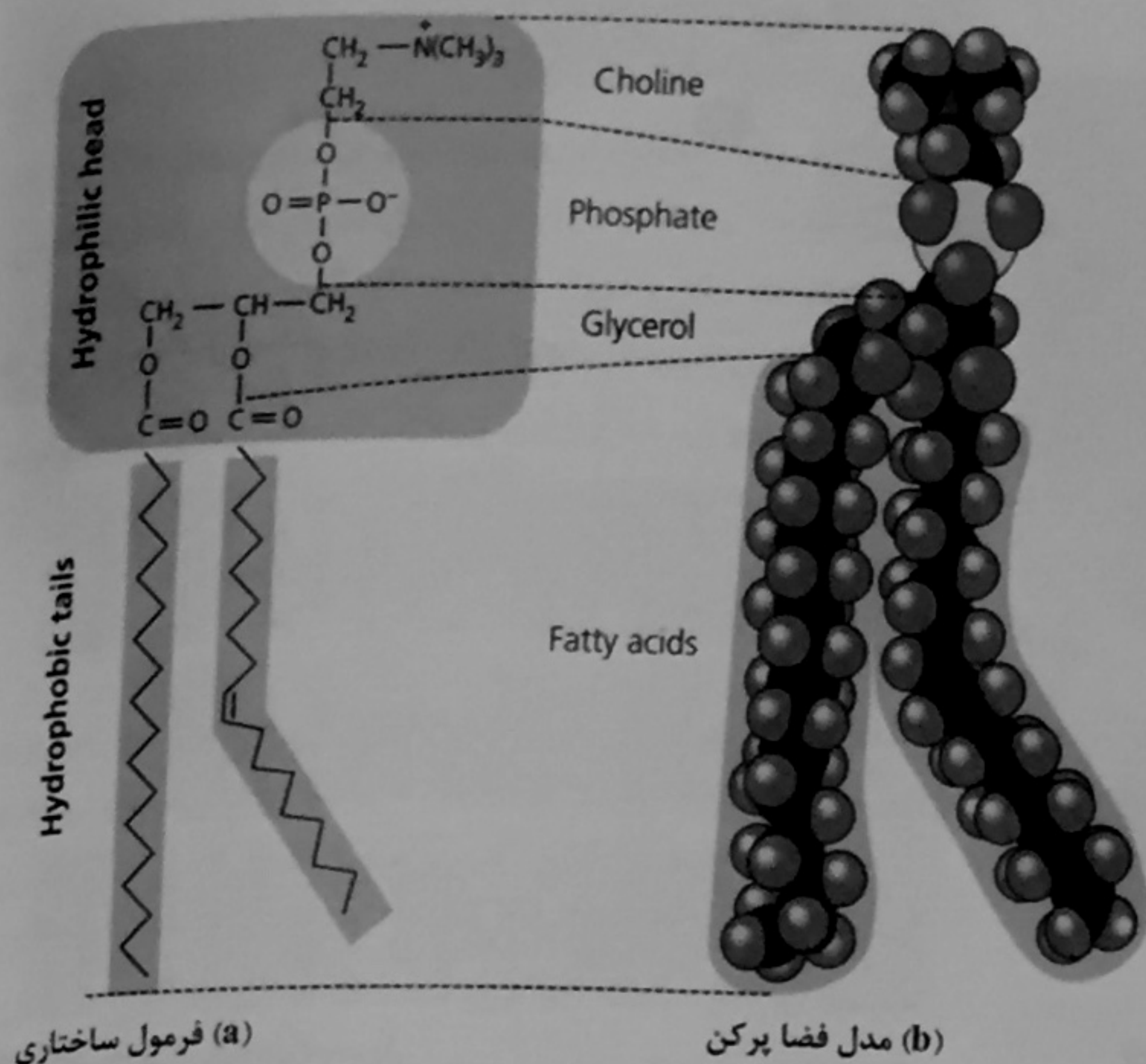



**(b) چربی غیراشباع**



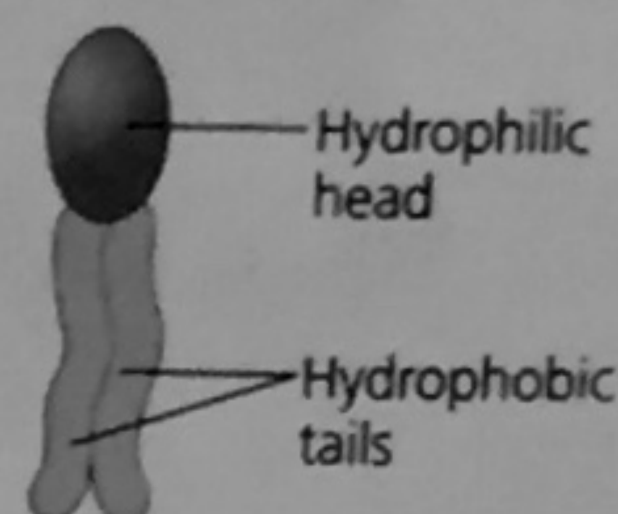

▲ **شکل ۱۱-۵ چربی‌ها و اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع.**

مولکول‌ها می‌توانند در کنار یکدیگر به‌صورت پهلوبه‌پهلو قرار گیرند. چربی‌های جانوری اشباع همچون کره و پیه در دمای اتاق جامد هستند. برعکس آنها، چربی‌های گیاهان و ماهی‌ها عموماً غیراشباع هستند، یعنی از یک یا چند نوع اسید چرب غیراشباع ساخته شده‌اند. این چربی‌ها معمولاً در دمای اتاق روان هستند و به آنها **روغن**




(a) فرمول ساختاری

(b) مدل فضا پرکن




(c) نشانهٔ فسفولیپیدی

◀ **شکل ۱۲ - ۵ ساختمان یک فسفولیپید.** یک فسفولیپید دارای یک سر آب‌دوست (قطبی) و دو دم آب‌گریز (غیرقطبی) است. تنوع فسفولیپیدها برپایهٔ اختلاف در دو اسید چرب و نیز گروه‌های اتصال‌یافته به گروه فسفر در بخش سر فسفولیپید می‌باشد. این فسفولیپید خاص را فسفاتیدیل کولین می‌نامند که دارای یک گروه کولین است. خمیدگی در بخش دم به‌واسطهٔ پیوند دوگانهٔ سیس است. (a) فرمول ساختمانی نشان‌داده شده است. (b) در مدل فضاپرکن، کربن سیاه، هیدروژن خاکستری، اکسیژن قرمز، فسفر زرد و نیتروژن آبی است. (c) این علامت مخصوص فسفولیپید است که در سرتاسر کتاب استفاده شده است.

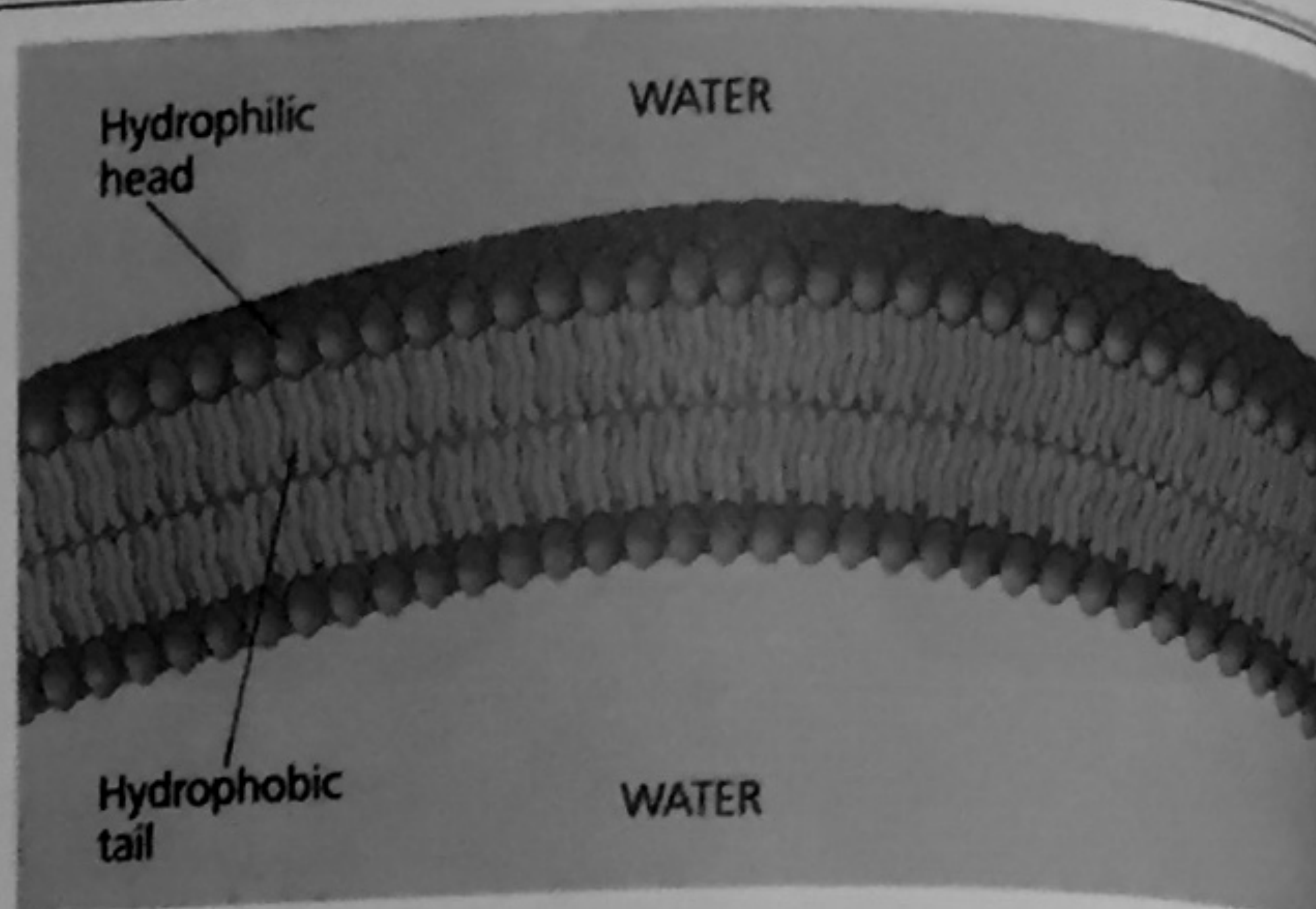
**رسم کنید** دور سر آب‌دوست این مدل فضاپرکن یک بیضی بکشید.

گفته می‌شود. مانند روغن زیتون و روغن ماهی. خمیدگی‌هایی که در محل پیوندهای دوگانهٔ سیس ایجاد می‌گردد، از کنار هم قرار گرفتن این اسیدهای چرب غیراشباع جلوگیری کرده بنابراین نمی‌توانند به اندازهٔ کافی به‌هم نزدیک شوند و نتیجهٔ آن، جامد نشدن در دمای اتاق است. عبارت «روغن گیاهی هیدروژنه» در برچسب‌های مواد غذایی به این معنی است که چربی‌های ساخته شدهٔ غیراشباع با افزودن هیدروژن به‌شکل اشباع درآمده‌اند. کرهٔ بادام‌زمینی، مارگارین و بسیاری از فرآورده‌های دیگر برای خارج شدن لیپیدها از شکل مایع (روغنی)، هیدروژنه می‌گردند.

رژیم غذایی غنی از چربی‌های اشباع‌شده، یکی از عوامل مؤثر در ابتلا به بیماری‌های قلبی و رگ‌ها به‌نام **آترواسکلروزیس**[1] (سخت شدن رگ‌ها) است. در چنین شرایطی، پلاک‌هایی بروی دیواره‌های رگ‌های خونی ایجاد می‌گردد که سبب توزدگی و برآمدگی به‌سوی درون این رگ‌ها شده و گردش خون رگ‌ها را کند کرده و خاصیت ارتجاعی رگ‌ها را کاهش می‌دهد. بررسی‌های تازه نشان داده که فرایند هیدروژنه کردن روغن‌های گیاهی ضمن ایجاد چربی‌های اشباع، چربی‌هایی با پیوندهای دوگانهٔ ترانس را هم به‌وجود می‌آورد. مولکول‌های **چربی ترانس** بیش از چربی‌های اشباع در سخت شدن رگ‌ها مؤثرند (فصل ۴۲ را ببینید).

چربی‌ها در فرهنگ امروزی با یک ذهنیت منفی همراه هستند و شاید برای شما عجیب باشد که چربی‌ها چه‌کاربرد سودمندی دارند. عمل اصلی چربی‌ها، ذخیرهٔ انرژی است. زنجیره‌های هیدروکربنی چربی‌ها مانند مولکول‌های بنزین هستند و غنی از انرژی می‌باشند. یک گرم چربی بیش از دو برابر یک گرم پلی‌ساکارید، مانند نشاسته، انرژی در خود دارد. از آنجاکه گیاهان نسبتاً غیرمتحرک هستند، بنابراین با اندوختهٔ فراوانی از انرژی به شکل نشاسته عمل می‌نمایند (روغن‌های گیاهی معمولاً از دانه‌ها گرفته می‌شوند، جایی‌که اندوخته بسیار فشرده بوده و سرمایهٔ گیاه به‌شمار می‌آید). اما جانوران، باید این انرژی را با خود جابه‌جا کنند، به‌گونه‌ای که داشتن یک اندوختهٔ فشرده همچون چربی، نوعی مزیت به‌شمار می‌رود. انسان‌ها و دیگر پستانداران، ذخایر غذایی بلندمدت خود را در سلول‌های چربی انباشته می‌کنند (شکل ۶a- ۴). سلول‌های چربی هنگام اندوختن چربی، متورم و هنگام تخلیه شدن این اندوخته چروکیده می‌گردند. بافت چربی علاوه بر ذخیره کردن انرژی از اندام‌هایی همچون کلیه محافظت می‌کند و یک لایه چربی در زیرپوست، بدن را عایق بندی می‌نماید. این لایهٔ زیرپوستی به‌خصوص در نهنگ‌ها، سگ‌های دریایی و دیگر پستانداران دریایی ضخیم است و آنها را در برابر آب سرد اقیانوس‌ها محافظت می‌کند.

---
1 - Athero sclerosis




▲ شکل ۱۳-۵ ساختمان دولایه‌ای حاصل از گردهم آمدن فسفولیپیدها در محیط آبی. *دولایهٔ فسفولیپیدی نشان داده شده در اینجا نمونه‌ای از غشای زیستی است. توجه داشته باشید که سرهای آب‌دوست فسفولیپیدها در تماس با آب هستند درحالی‌که دنباله‌های آب‌گریز در تماس با یکدیگرند و از آب دور می‌باشند.*

### فسفولیپیدها

یک **فسفولیپید**[1] (شکل ۱۲-۵) مانند چربی است، با این تفاوت که در آن به‌جای سه اسید چرب، دو اسید چرب به یک مولکول گلیسرول پیوند شده‌اند. گروه هیدروکسیل سوم گلیسرول به فسفات پیوند شده است که این گروه فسفات باعث ایجاد بار منفی در سطح فسفولیپید می‌گردد. مولکول‌های کوچک دیگر که بیشتر قطبی یا باردار هستند، با پیوند به گروه فسفات، انواع فسفولیپیدها را می‌سازند.

فسفولیپیدها رفتار دوگانه‌ای را از خود نشان می‌دهند. دُم‌های هیدروکربنی آنها آب‌گریز هستند و از آب جدا می‌شوند. اما گروه فسفات و مولکول متصل به آن یک سر آب‌دوست را تشکیل می‌دهند که به آب تمایل دارند. هنگامی‌که فسفولیپیدها به آب افزوده شوند، به‌صورت دو لایه‌ای درآمده به‌گونه‌ای که بخش‌های آب‌گریزشان دور از آب قرار می‌گیرند (شکل ۱۳-۵).

در سطح یک سلول، فسفولیپیدها ساختار دولایه‌ای، مانند شکل بالا را می‌سازند. سرهای آب‌دوست مولکول‌ها در بخش بیرونی دولایه و در تماس با محلول‌های آبی درون و بیرون سلول قرار می‌گیرند. دنباله‌های آب‌گریز به‌سوی بخش درونی دولایه کشیده شده و دور از مولکول‌های آب قرار می‌گیرند. دولایهٔ فسفولیپیدی، نوعی سد بین سلول و پیرامون آن ایجاد می‌کند؛ در واقع، فسفولیپیدها ترکیبات اصلی سازندهٔ غشاهای سلولی هستند. این رفتار نمونهٔ دیگری از تناسب ساختار با عملکرد در سطح مولکولی را نشان می‌دهد.

1 - Phospholipid

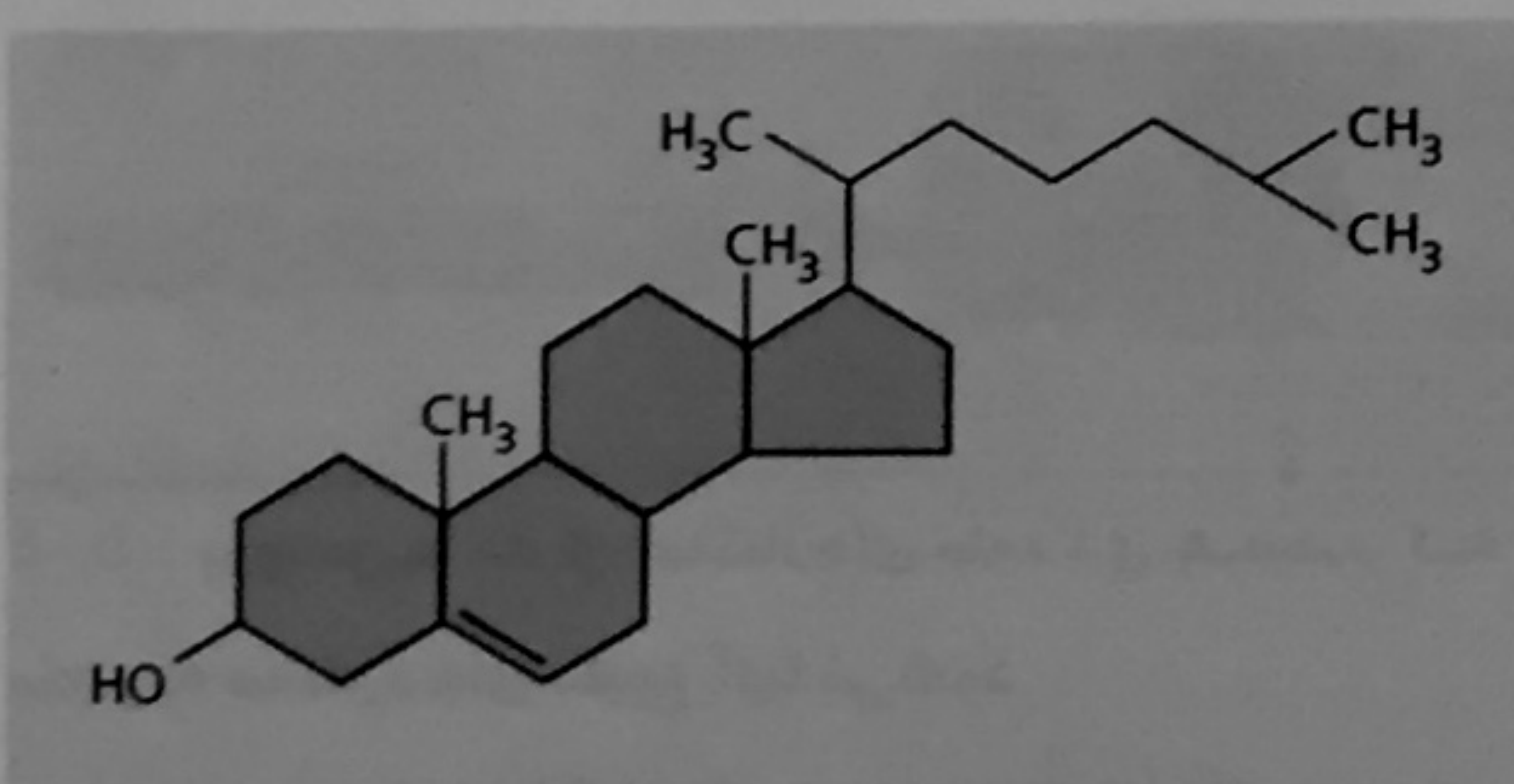
### استروئیدها

**استروئیدها**[2]، لیپیدهایی هستند که اسکلت کربنی‌شان از چهار حلقهٔ متصل به هم ساخته شده است (شکل ۱۴-۵). استروئیدهای گوناگون در گروه‌های عملکردی فعال متصل شده به این مجموعهٔ حلقه‌ای متفاوتند. یکی از استروئیدها، به‌نام **کلسترول**[3]، ترکیب اصلی و معمول غشای سلول‌های جانوری است، و پیش‌سازی برای ساخت دیگر استروئیدها به‌شمار می‌آید. بسیاری از هورمون‌ها مانند هورمون‌های جنسی مهره‌داران، استروئیدهای حاصل از کلسترول هستند (شکل ۹-۴ را ببینید). بنابراین، کلسترول یک مولکول حیاتی در جانوران است هر چند که سطح بالای کلسترول در خون می‌تواند سبب آترواسکلروزیس و سختی سرخرگ‌ها گردد. هم چربی‌های اشباع و هم چربی‌های غیراشباعِ ترانس با اثر بر مقدار کلسترول خون، می‌توانند بر سلامت انسان تأثیر منفی داشته باشند.

## پرسش‌های مبحث ۳-۵

۱. ساختمان یک چربی (تری‌گلیسرید) را با یک فسفولیپید مقایسه کنید.
۲. چرا هورمون‌های جنسی انسان در دستهٔ لیپیدها طبقه‌بندی می‌شوند؟
۳. **چه می‌شد اگر؟** فرض کنید همانند شرایطی که در دانهٔ گیاه است، غشایی اطراف قطره‌ای از روغن را احاطه کند. اشکال قابل تشکیل احتمالی را توصیف کنید.

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*




▲ شکل ۱۴-۵ **کلسترول، نوعی استروئید.** *کلسترول مولکولی است که از آن استروئیدهای دیگر مانند هورمون‌های جنسی ساخته می‌شوند. استروئیدها در گروه‌های عملکردی چسبیده به چهار حلقهٔ خود با هم اختلاف دارند.*

**ارتباط دهید** *کلسترول را با هورمون‌های جنسی که در مبحث ۳-۴ گفته شده، مقایسه کنید. دورگروه‌های شیمیایی مشترک بین کلسترول و استرادیول دایره بکشید. دور گروه‌های شیمیایی مشترک بین تستوسترون و کلسترول مربع بکشید.*

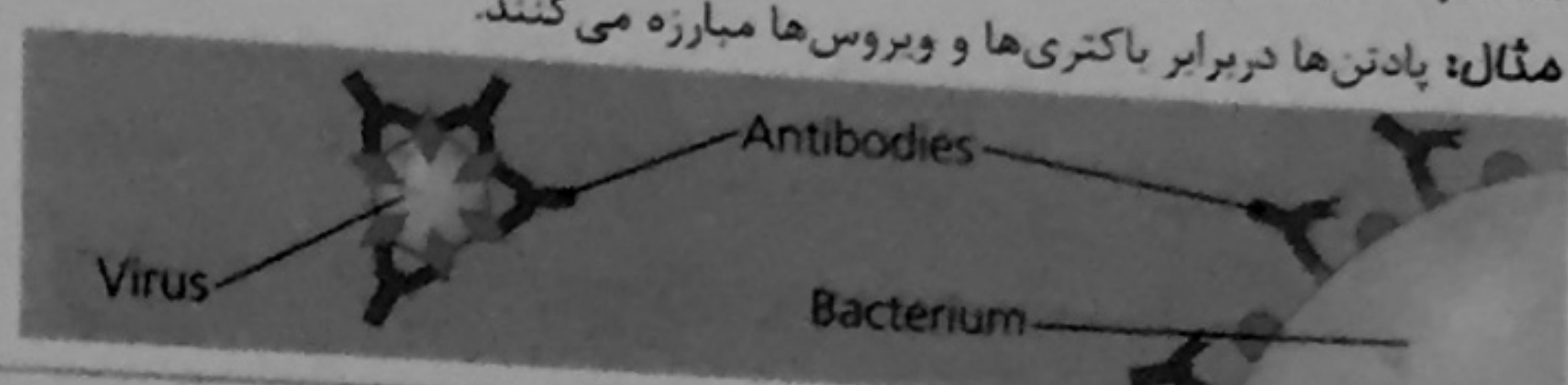
2 - Steroid
3 - Cholesterol

### شکل ۱۵-۵ مروری بر اعمال پروتئین‌ها

**پروتئین‌های دفاعی**

**عملکرد:** مقابله در برابر بیماری

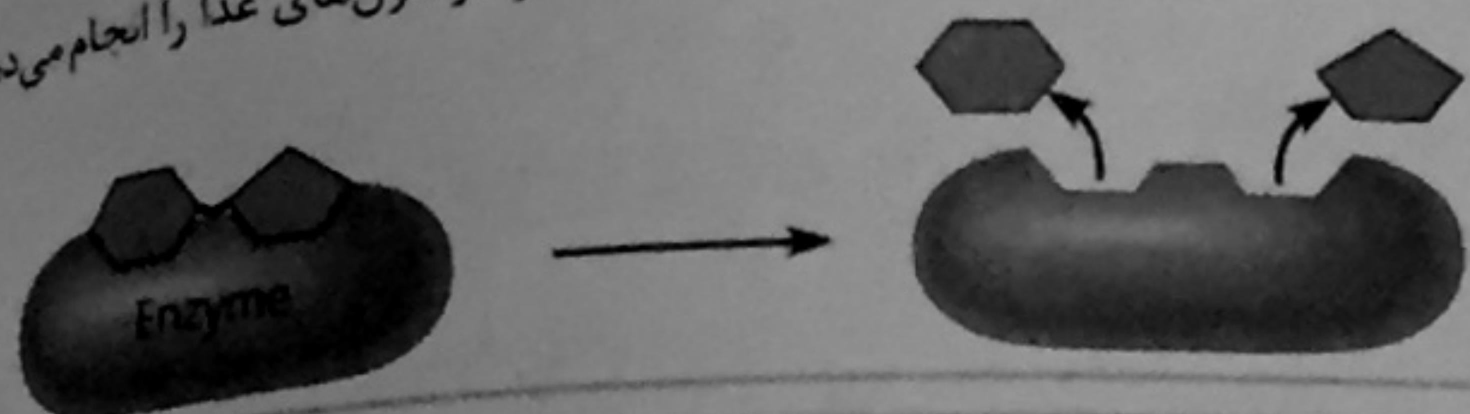
**مثال:** پادتن‌ها دربرابر باکتری‌ها و ویروس‌ها مبارزه می‌کنند.




**پروتئین‌های آنزیمی**

**عملکرد:** تسریع انتخابی واکنش‌های شیمیایی

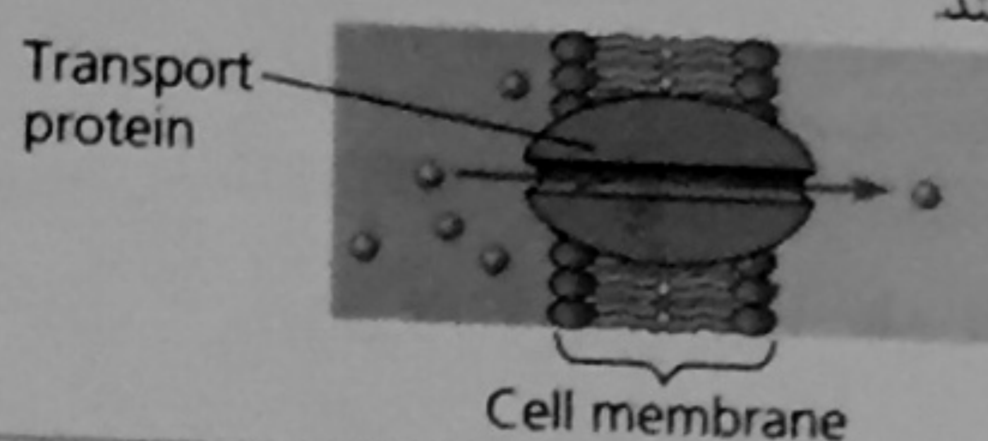
**مثال:** آنزیم‌های گوارشی، که هیدرولیز پیوندها در مولکول‌های غذا را انجام می‌دهند




**پروتئین‌های انتقالی**

**عملکرد:** انتقال مواد

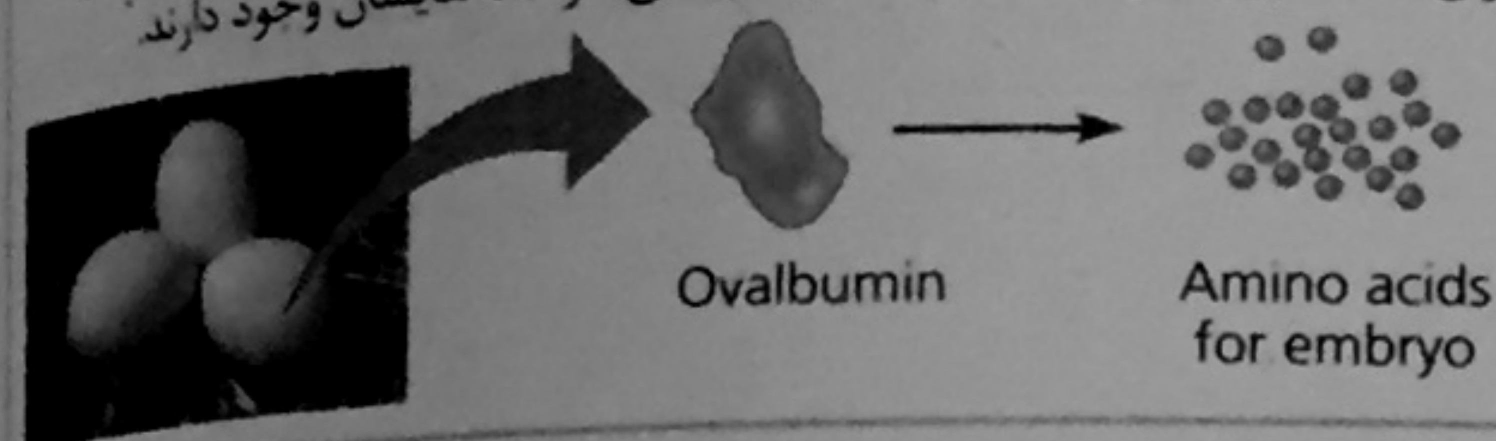
**مثال‌ها:** هموگلوبین، یا همان پروتئین آهن‌دار خون مهره‌داران، اکسیژن را از شش‌ها به بخش‌های دیگر بدن می‌برد. پروتئین‌های دیگر، مولکول‌ها را از میان غشاهای سلولی عبور می‌دهند.




**پروتئین‌های اندوخته‌ای**

**عملکرد:** ذخیره‌سازی آمینواسیدها

**مثال:** اوآلبومین، پروتئین سفیدهٔ تخم‌مرغ است که به‌عنوان منبع آمینواسید در تکوین جنین استفاده می‌شود. کازئین، پروتئین شیر، منبع عمدهٔ آمینواسید برای نوزادان پستانداران است. پروتئین‌های اندوخته‌ای گیاهان در دانه‌هایشان وجود دارند.




**پروتئین‌های گیرنده**

**عملکرد:** پاسخ سلول به محرک‌های شیمیایی

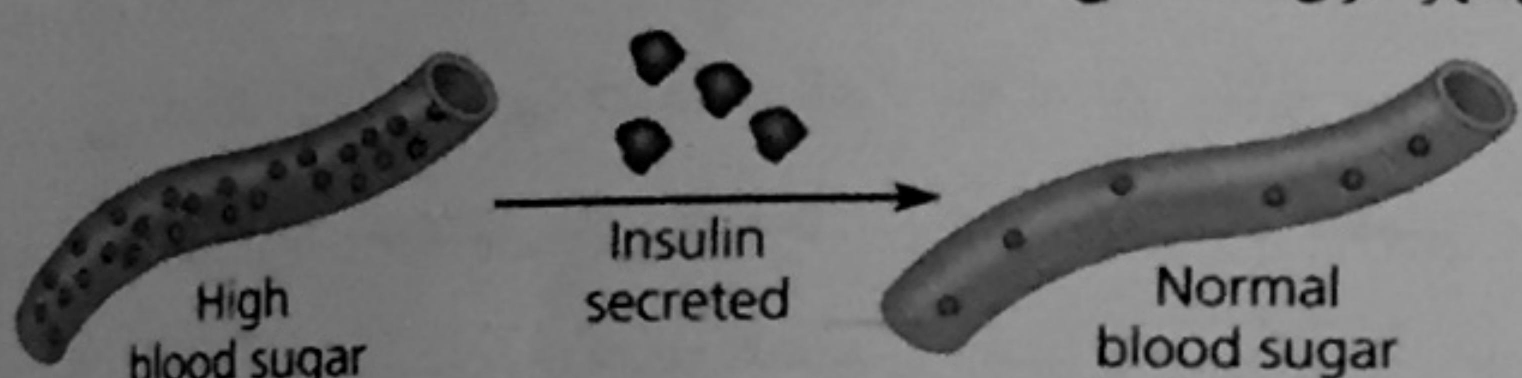
**مثال:** گیرنده‌های موجود در غشای سلول عصبی، پیام‌های شیمیایی آزادشده توسط سلول‌های عصبی دیگر را شناسایی می‌کنند.




**پروتئین‌های هورمونی**

**عملکرد:** هماهنگ نمودن فعالیت‌های جاندار

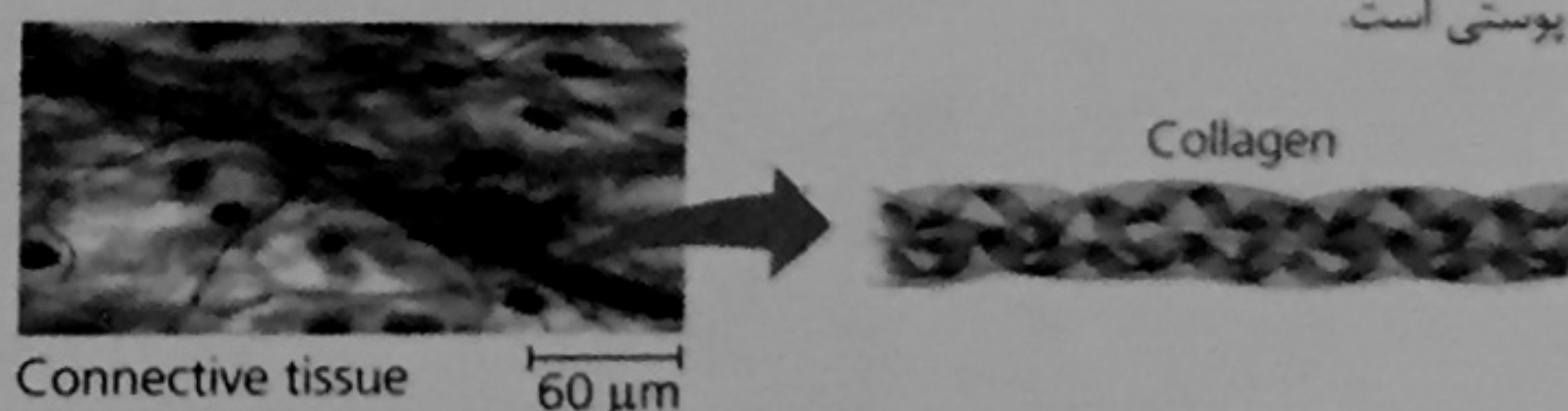
**مثال:** انسولین، که هورمون ترشحی از لوزالمعده است، به تنظیم غلظت قند خون مهره‌داران کمک می‌کند.




**پروتئین‌های ساختاری**

**عملکرد:** نگهداری و حفاظت سلولی

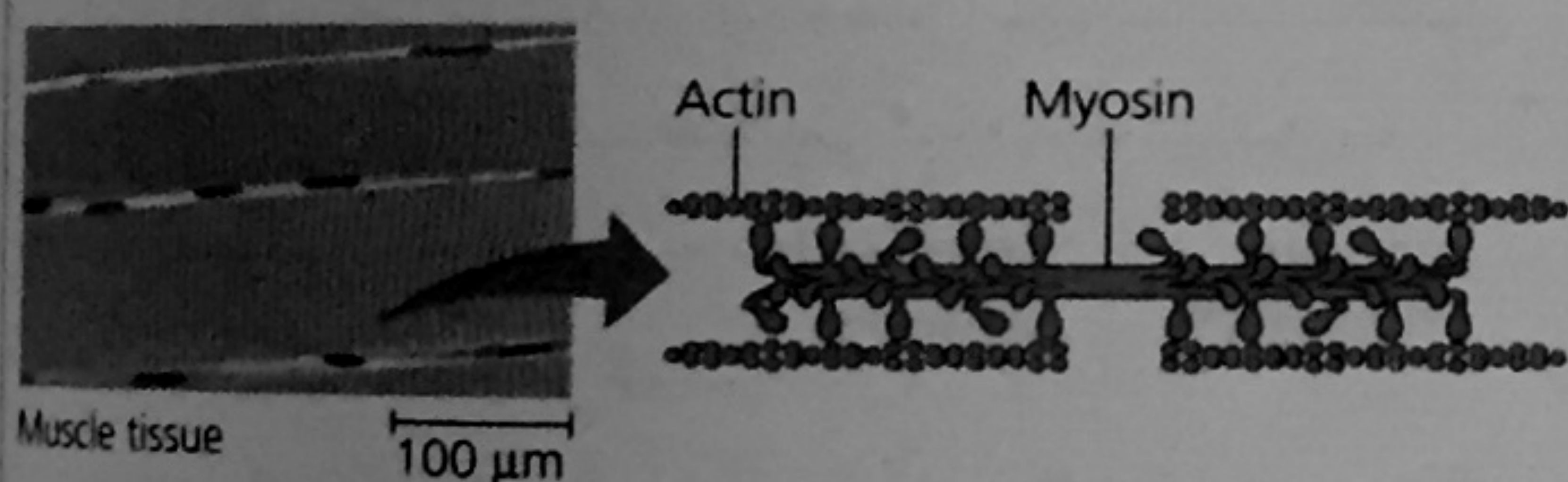
**مثال‌ها:** حشرات و عنکبوت‌ها از رشته‌های ابریشم برای ساختن پیله و تارها استفاده می‌کنند. کلاژن و الاستین یک شبکهٔ رشته‌ای را در بافت‌های همبند (پیوندی) جانوران ایجاد می‌کنند. کراتین، پروتئین مو، چرم، شاخ و زواید پوستی است.




**پروتئین‌های انقباضی و حرکتی**

**عملکرد:** حرکت

**مثال‌ها:** اکتین و میوزین مسئول حرکت ماهیچه‌ها هستند. پروتئین‌های دیگر مسئول موج‌های ایجادشده در مژک و تاژک هستند.




## ۴-۵ پروتئین‌ها دارای ساختارهای متعددی هستند که منجر به عملکردهای متنوع آنها می‌شود

اهمیت پروتئین‌ها از نام‌شان پیداست که از کلمهٔ یونانی *Proteios* به‌معنی «جایگاه اول» آمده است. پروتئین‌ها بیش از ۵۰٪ وزن خشک بیشتر سلول‌ها را می‌سازند و در هر فرایندی که جانداران انجام می‌دهند، کاربرد و نقش مؤثر دارند. برخی پروتئین‌ها، به واکنش‌های شیمیایی سرعت می‌دهند، درحالی‌که برخی دیگر در استحکام ساختاری، ذخیره، جابه‌جایی، ارتباطات سلولی، حرکت و دفاع در برابر مواد خارجی نقش دارند. **شکل ۱۵-۵** مثال‌هایی از پروتئین‌هایی با این عملکردها را نشان می‌دهد، که شما در فصل‌های بعدی در مورد آنها بیشتر خواهید آموخت. مهم‌ترین گروه پروتئین‌ها، **آنزیم‌ها**[1] هستند. پروتئین‌های آنزیمی با سرعت دادن به واکنش‌ها به‌عنوان **کاتالیزگر**[2]، متابولیسم را تنظیم می‌کنند. کاتالیزکننده‌ها، عوامل شیمیایی هستند که به‌طور انتخابی، واکنش‌های شیمیایی سلولی را سرعت می‌دهند بدون اینکه در واکنش مصرف شوند. چون یک آنزیم کار خود را بارها و بارها تکرار می‌کند بنابراین از عوامل پرکار سلولی به‌شمار می‌آیند که فرایندهای حیات را انجام می‌دهند.

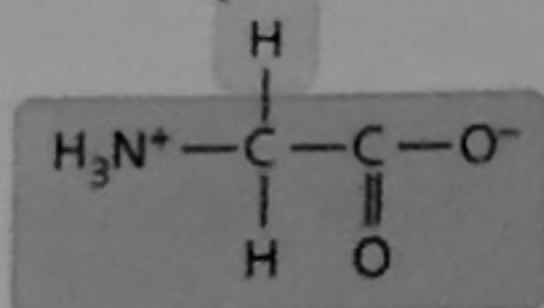
1 - Enzymes
2 - Catalyst

▼ شکل ۱۶-۵ **بیست نوع آمینواسید پروتئین‌ها**

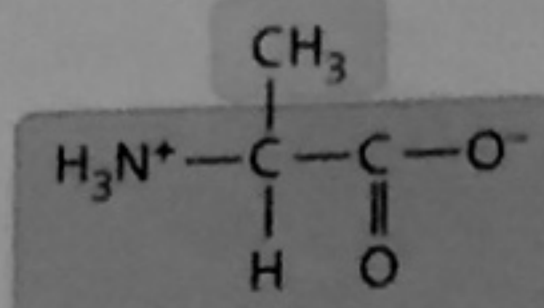
آمینواسیدها براساس زنجیرهٔ جانبی‌شان (گروه‌های R) گروه‌بندی می‌شوند. آمینواسیدها در pH=۷/۲ (pH درون سلول) و به شکل باردار نشان داده شده‌اند. سه حرف، نشان دهندهٔ علامت اختصاری آمینواسید است. همهٔ آمینواسیدهای پروتئین‌ها، انانتیومر نوع L می‌باشند.

**Nonpolar side chains; hydrophobic**

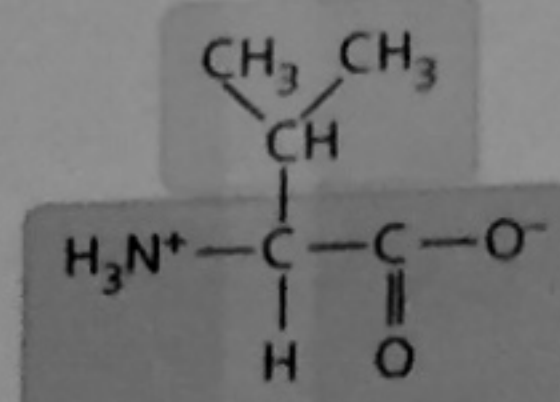
Side chain (R group)



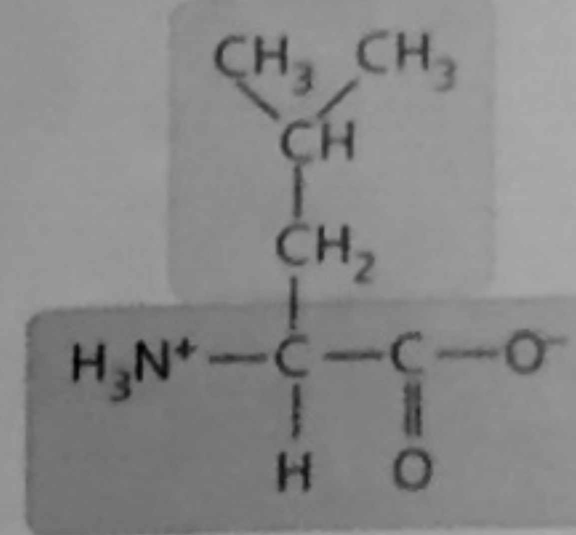
Glycine (Gly or G)



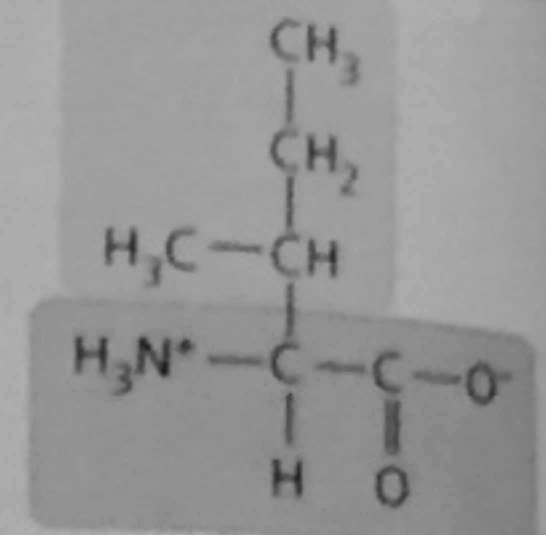
Alanine (Ala or A)



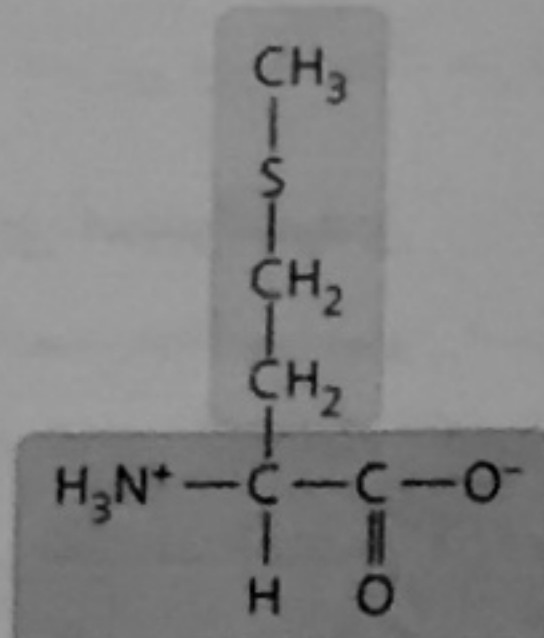
Valine (Val or V)



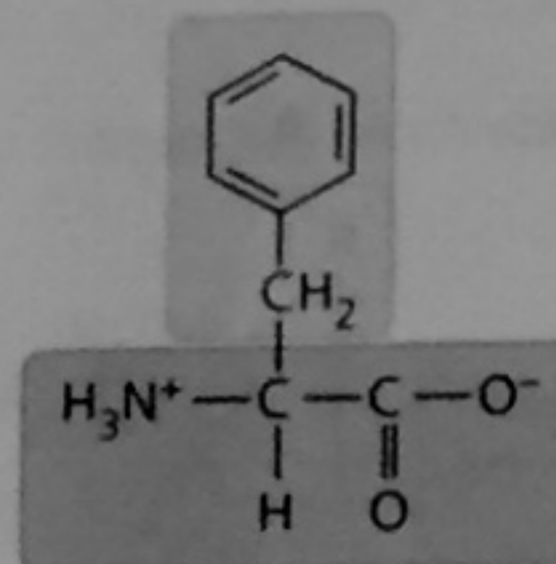
Leucine (Leu or L)



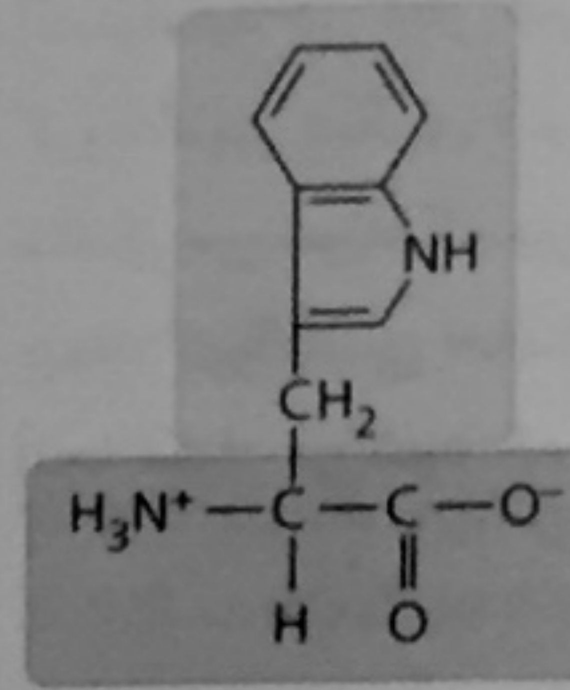
Isoleucine (Ile or I)



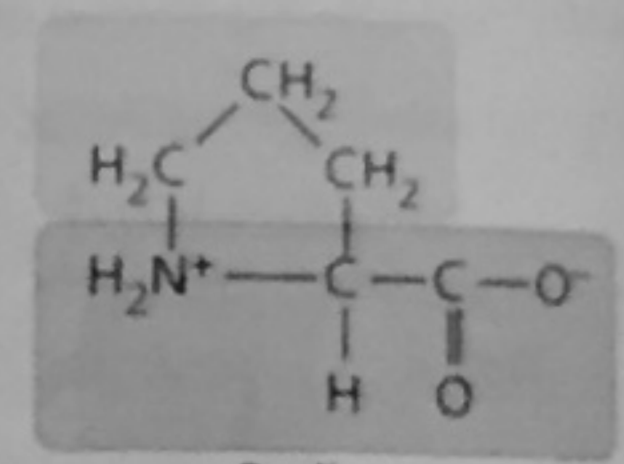
Methionine (Met or M)



Phenylalanine (Phe or F)

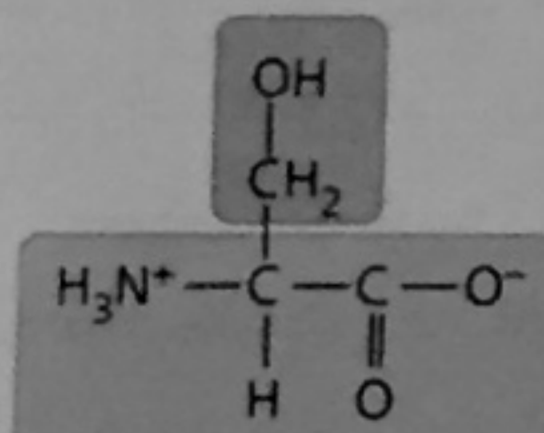


Tryptophan (Trp or W)

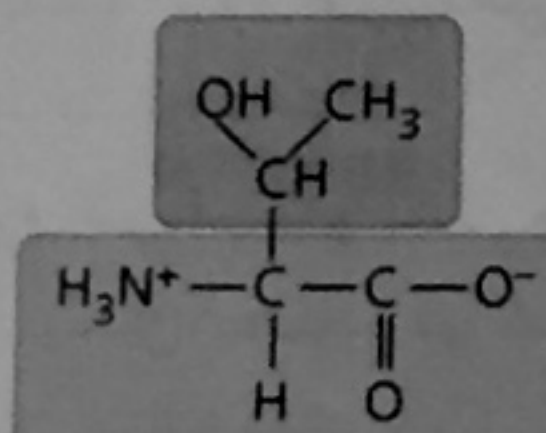


Proline (Pro or P)

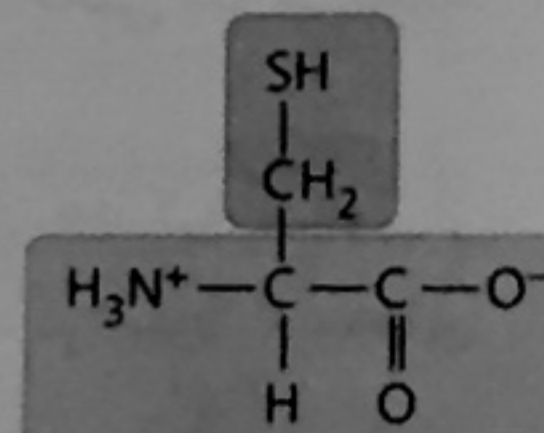
**Polar side chains; hydrophilic**



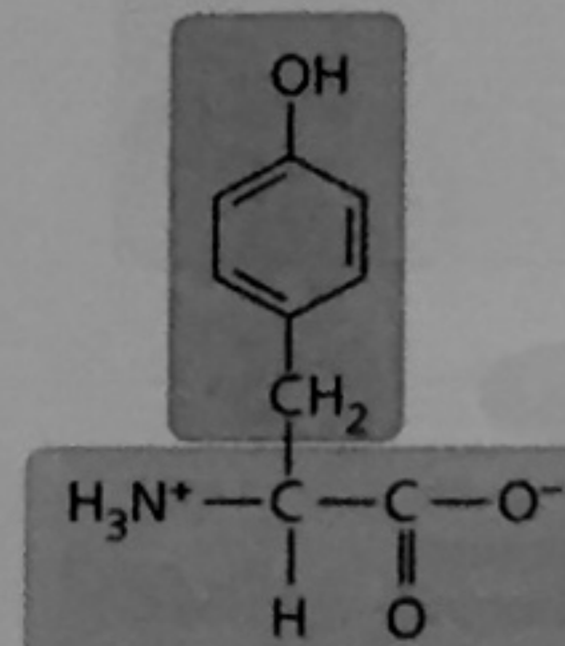
Serine (Ser or S)



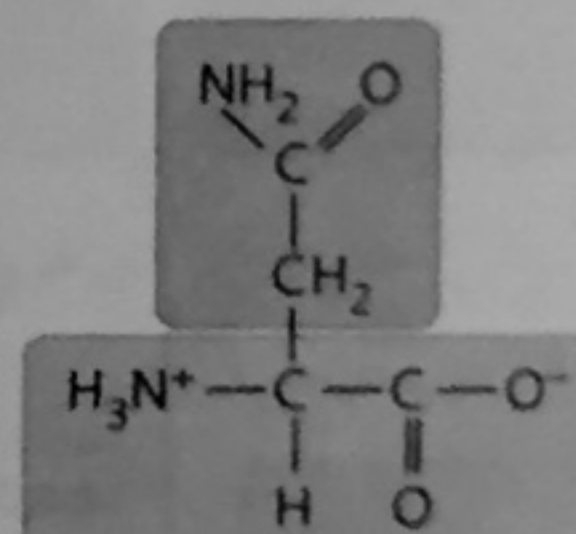
Threonine (Thr or T)



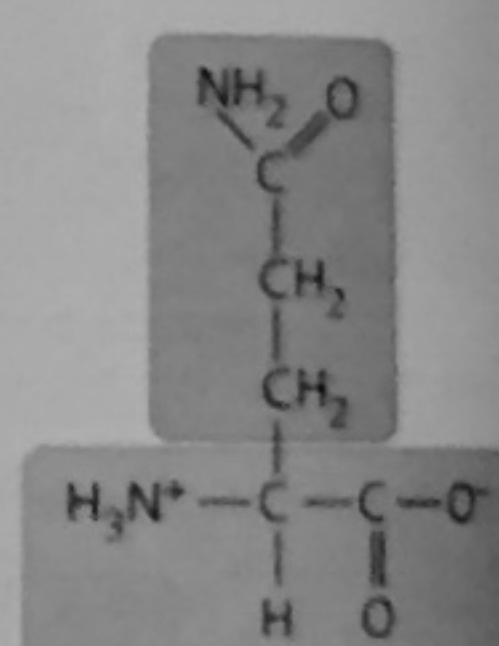
Cysteine (Cys or C)



Tyrosine (Tyr or Y)



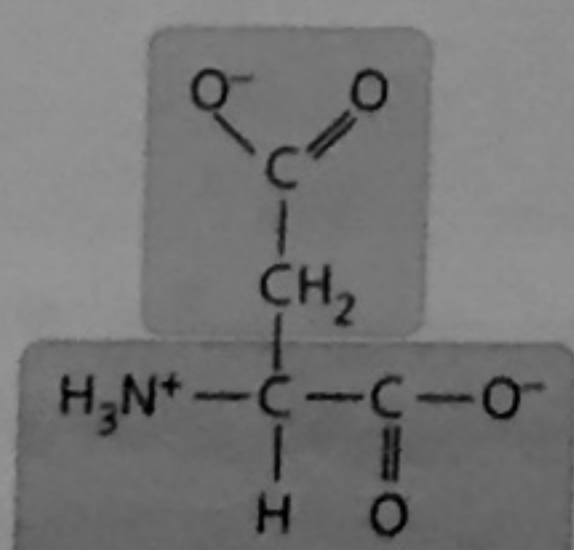
Asparagine (Asn or N)



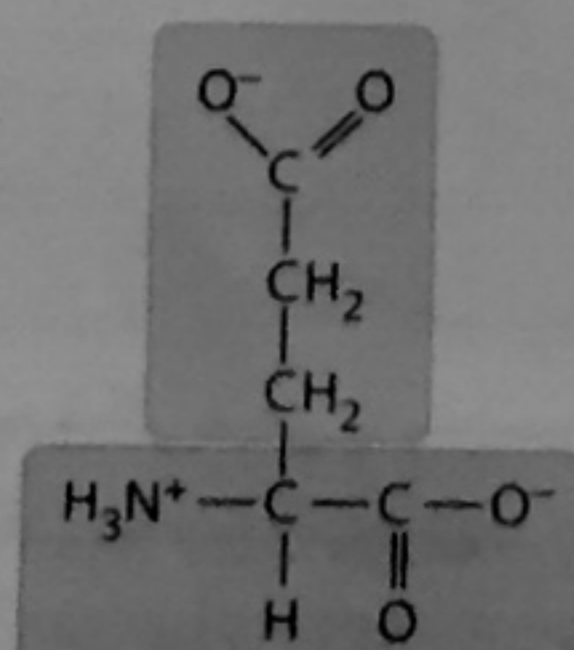
Glutamine (Gln or Q)

**Electrically charged side chains; hydrophilic**

**Acidic** (negatively charged)

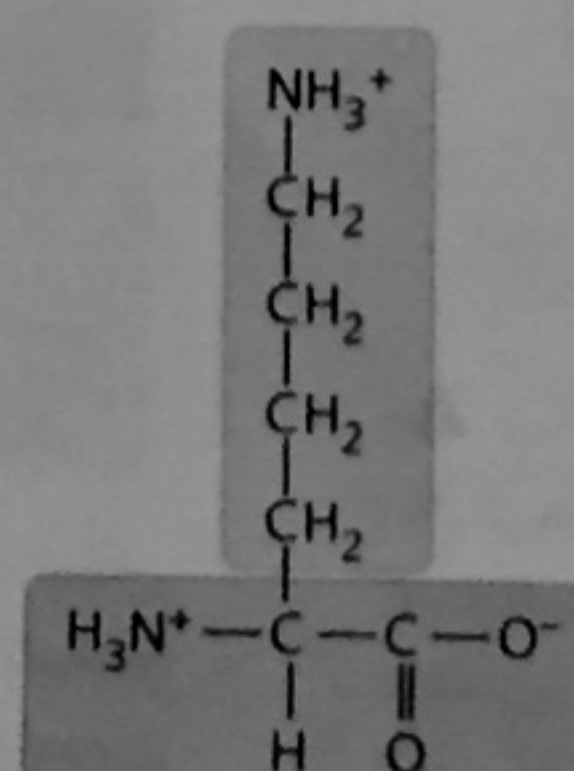


Aspartic acid (Asp or D)

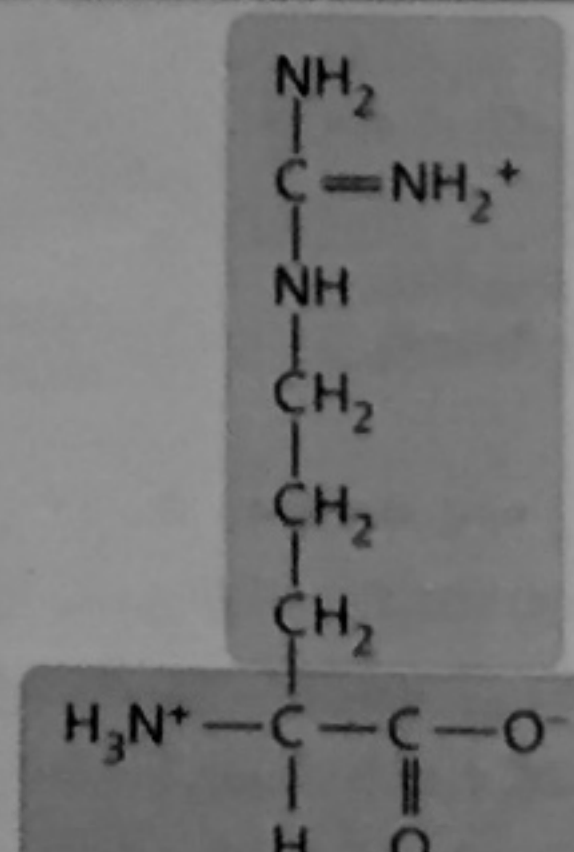


Glutamic acid (Glu or E)

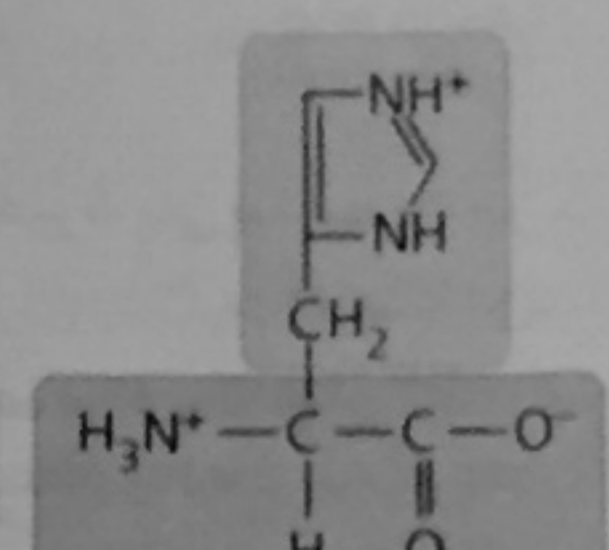
**Basic** (positively charged)



Lysine (Lys or K)



Arginine (Arg or R)



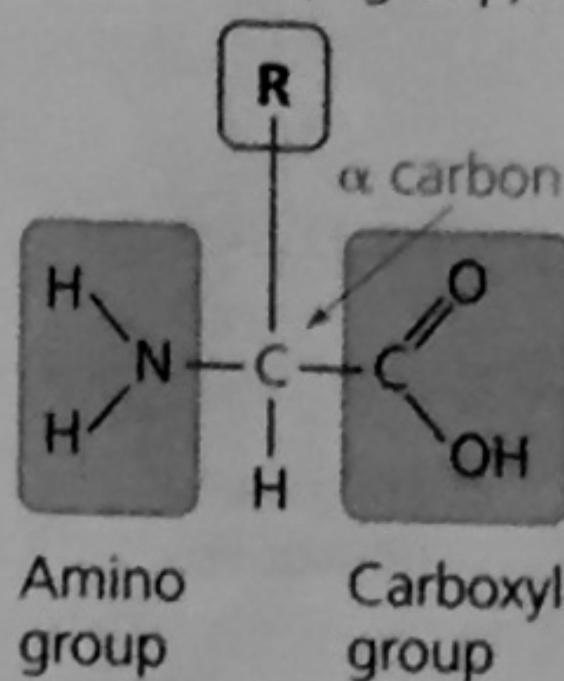
Histidine (His or H)

یک انسان ده‌ها هزار پروتئین گوناگون دارد که هر کدام ساختار و عملکرد ویژه‌ای دارند. در واقع پروتئین‌ها مولکول‌هایی هستند که از لحاظ ساختاری بسیار ظریف و پیچیده‌اند. هماهنگ با کارهای گوناگون، پروتئین‌ها از لحاظ ساختاری نیز بسیار گوناگون‌اند به‌گونه‌ای که هر پروتئین ساختار سه‌بعدی و شکل فضایی مخصوص به خود را دارد.

### پلی‌پپتیدها

با وجود گوناگونی پروتئین‌ها، آنها پلی‌مرهایی متشکل از ۲۰ نوع آمینواسید می‌باشند. پلی‌مرهای آمینواسید را **پلی‌پپتید**[1] می‌نامند. یک **پروتئین** از یک یا چند پلی‌پپتید تاخورده و پیچ‌خورده با شکل‌های فضایی ویژه ایجاد می‌شود.

### مونومرهای آمینواسیدی



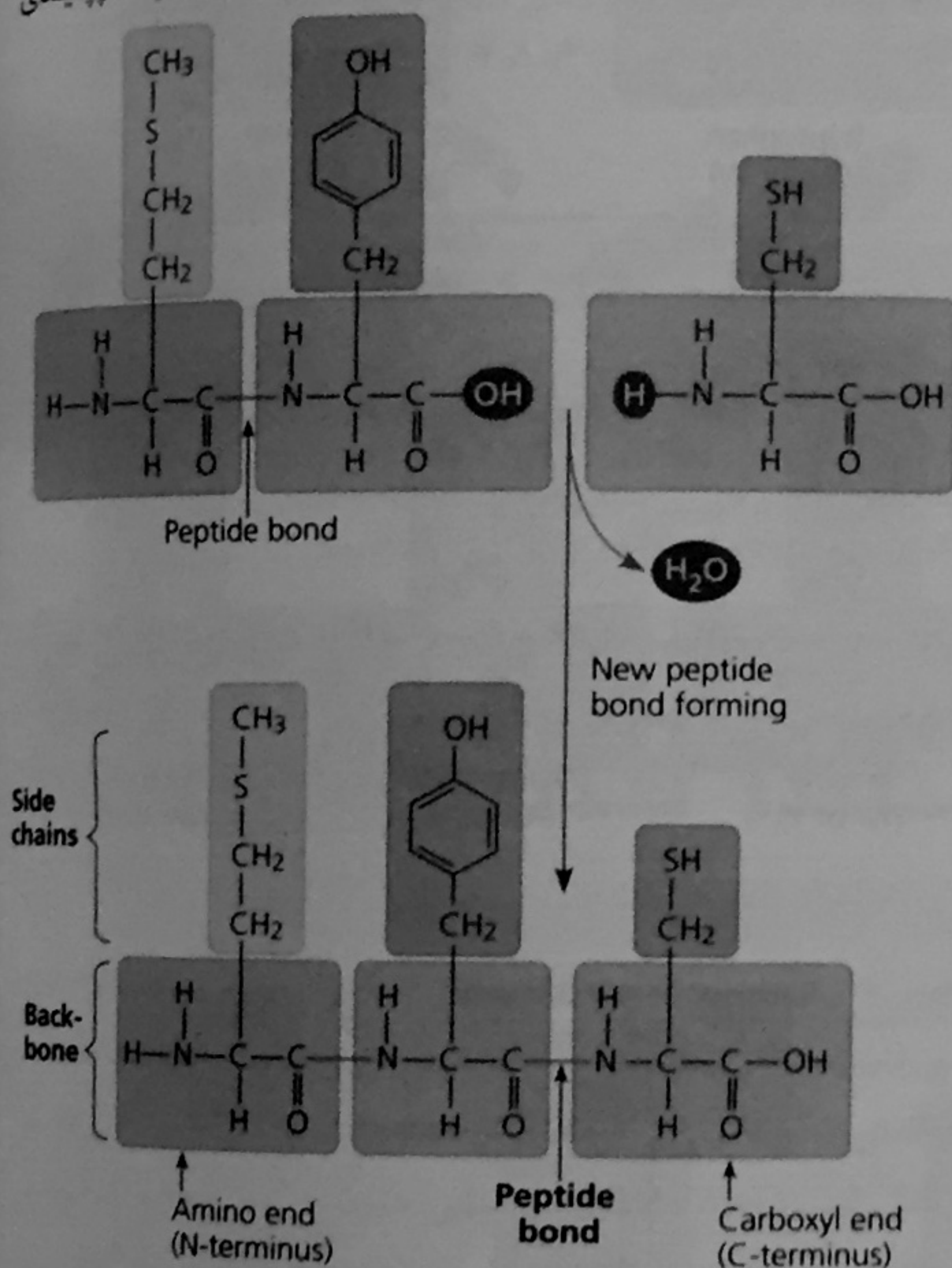

**آمینواسیدها** مولکول‌هایی آلی هستند که دارای گروه‌های کربوکسیل و آمین می‌باشند (فصل ۴ را ببینید). ساختار آمینواسید در شکل روبه‌رو به نمایش درآمده است. در وسط آمینواسید، کربن نامتقارنی به نام کربن α وجود دارد. به کربن α، چهار گروه مختلف، از جمله یک گروه آمین، یک گروه کربوکسیل، یک اتم هیدروژن و یک گروه متغیر که با علامت R نشان داده شده پیوند می‌شود. گروه R را زنجیرهٔ جانبی نیز می‌نامند که برحسب نوع آمینواسید متفاوت است.

شکل ۱۶- ۵، ۲۰ نوع آمینواسید را نشان می‌دهد که سلول از آن برای ساختن هزاران پروتئین استفاده می‌کند. در اینجا گروه‌های کربوکسیل و آمین به شکل یونیزه نشان داده شده‌اند، شکلی که در pH سلولی وجود دارد. گروه R می‌تواند به سادگی یک اتم هیدروژن در آمینواسید گلیسین باشد (تنها آمینواسیدی که کربن نامتقارن ندارد و در دو جایگاه در کنار کربن α اتم‌های هیدروژن پیوند دارند) یا می‌تواند یک اسکلت کربنی باشد که گروه‌های گوناگون عملکردی با آن پیوند دارند، مانند گلوتامین.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زنجیرهٔ جانبی، خصوصیات منحصربه‌فرد یک آمینواسید را تعیین می‌کند. در شکل ۱۶- ۵، آمینواسیدها بر پایهٔ ویژگی‌های زنجیرهٔ جانبی گروه‌بندی شده‌اند. یک گروه شامل آمینواسیدهای دارای زنجیرهٔ جانبی غیرقطبی می‌باشند که آب‌گریز هستند. گروه دیگر شامل آمینواسیدهای دارای زنجیره‌های جانبی قطبی می‌باشند که آب‌دوست می‌باشند. آمینواسیدهای اسیدی در زنجیرهٔ جانبی‌شان به‌دلیل حضور یک گروه کربوکسیل دارای بار منفی هستند چون در pH سلولی به‌شکل یونیزه می‌باشند. آمینواسیدهای بازی در زنجیرهٔ جانبی، گروه‌های آمین دارند و دارای بار مثبت هستند (توجه داشته باشید که همهٔ آمینواسیدها دارای گروه کربوکسیل و گروه آمین هستند و طبقه‌بندی اسیدی و بازی در این متن فقط به گروه‌های موجود در زنجیره‌های جانبی اشاره دارد). آمینواسیدهای با زنجیرهٔ جانبی باردار اسیدی و بازی همگی آب‌دوست هستند.

### پلی‌مرهای آمینواسیدی

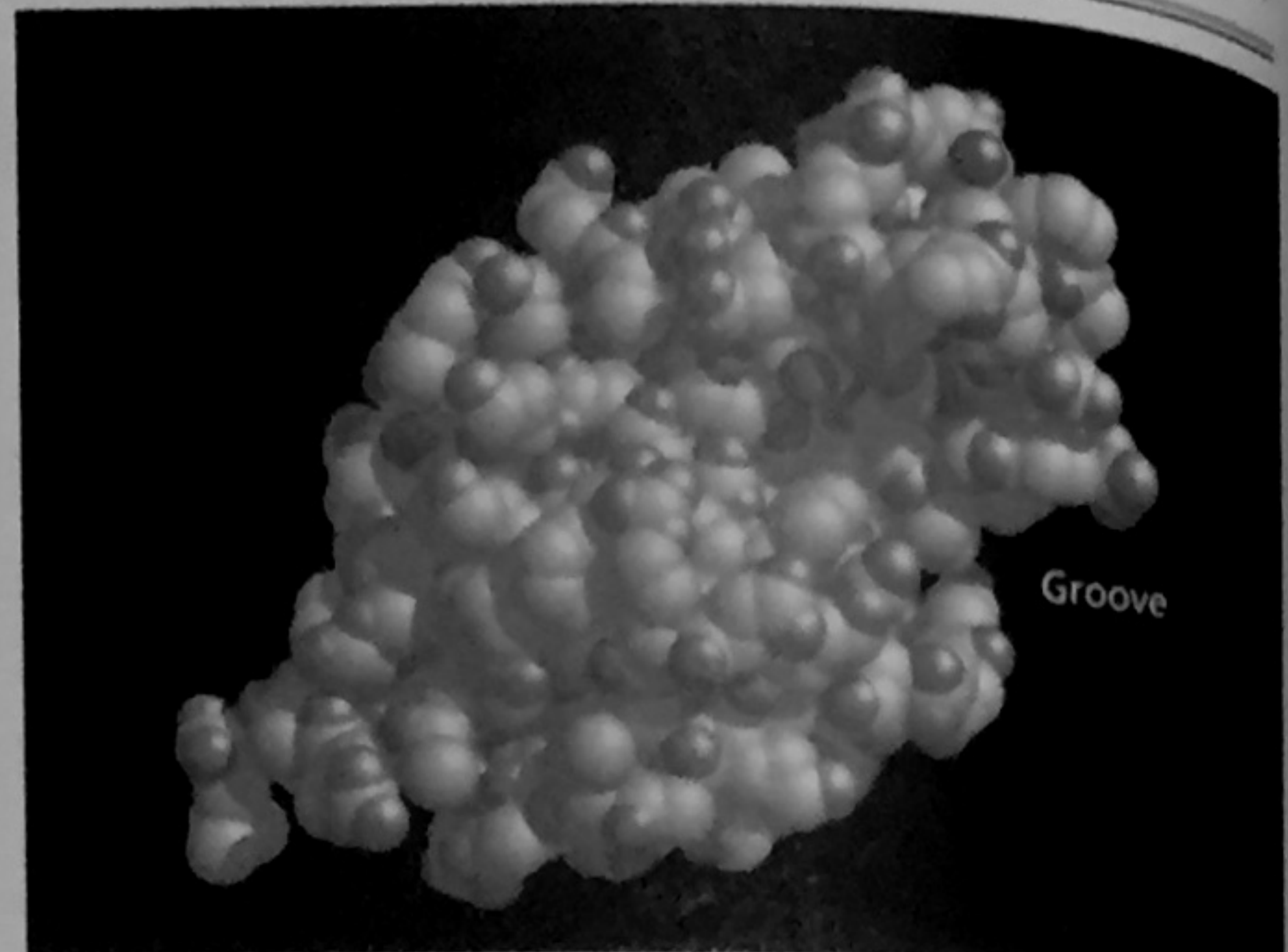
حال که آمینواسیدها را بررسی کردیم، ببینیم چگونه این آمینواسیدها به‌هم می‌پیوندند (شکل ۱۷- ۵). هنگامی‌که دو آمینواسید در کنار هم قرار می‌گیرند، گروه کربوکسیل یکی در کنار گروه آمین دیگری قرار گرفته و توسط واکنش آب‌دهی به هم متصل می‌شوند که در این واکنش یک مولکول آب آزاد می‌شود. پیوند کووالانسی حاصل را **پیوند پپتیدی**[2] می‌نامند. این واکنش تا آنجا تکرار می‌شود که پلی‌مری از آمینواسیدها با پیوند پپتیدی




▲ **شکل ۱۷- ۵ ساخت یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی.** *پیوندهای پپتیدی با واکنش‌های آب‌دهی ایجاد می‌گردند که در آن یک گروه کربوکسیل از یک آمینواسید به گروه آمین آمینواسید بعدی می‌پیوندد. پیوندهای پپتیدی از بخش انتهای آمینی (انتهای N) تشکیل می‌گردند. پلی‌پپتید دارای اسکلت تکراری (بخش ارغوانی) است که زنجیره‌های جانبی (زرد و سبز) به آن چسبیده‌اند.*

1 - Polypeptid

2 - Peptid bond




**(b) مدل فضاپرکن.** شکل کروی موجود در بسیاری از پروتئین‌ها را نشان می‌دهد. در اینجا ساختمان فضایی لیزوزیم نشان داده شده است.




**(a) مدل روبانی** نشان می‌دهد که چگونه زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی تا می‌خورد و درهم می‌پیچد تا به یک پروتئین فعال تبدیل شود. (خطوط زردرنگ پل‌های دی‌سولفیدی را نشان می‌دهند که شکل پروتئین را پایدار می‌کنند.)

▲ شکل ۱۸- ۵ **ساختمان فضایی پروتئین لیزوزیم.** *لیزوزیم موجود در اشک، عرق و بزاق با اتصال به مولکول‌های سطحی خاصی در بسیاری از انواع باکتری‌ها و تخریب آنها، از ایجاد عفونت جلوگیری می‌کند. شیار، بخشی از پروتئین است که به مولکول‌های هدف، در دیوارهٔ باکتری‌ها می‌چسبد.*

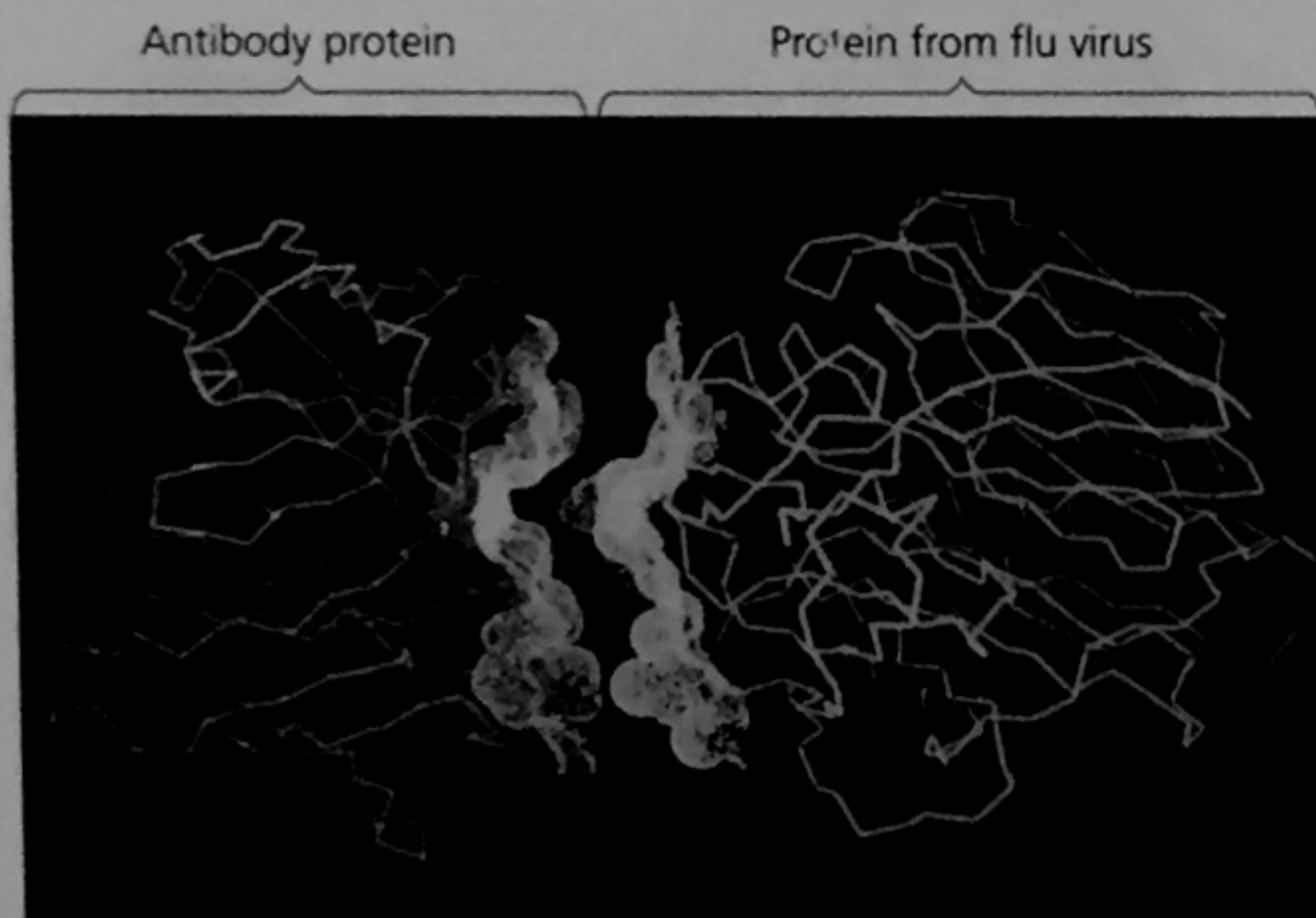
تشکیل شده و پلی‌پپتید بسازد. در یک انتهای زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی، یک گروه آمین آزاد و در انتهای دیگر آن، یک گروه کربوکسیل آزاد قرار دارد. بنابراین، زنجیره دارای یک انتهای آمین (انتهای N) و یک انتهای کربوکسیل (انتهای C) می‌باشد.

به توالی تکرار شوندهٔ اتم‌ها به‌رنگ ارغوانی در شکل ۱۷- ۵ اسکلت پلی‌پپتیدی می‌گویند. زنجیره‌های جانبی گوناگونی برروی هر کدام از این آمینواسیدها وجود دارد. یک پلی‌پپتید می‌تواند دارای تعداد کمی مونومر باشد و یا بیش از هزاران مونومر داشته باشد. هر پلی‌پپتید دارای توالی خطی ویژه‌ای از آمینواسیدها است. گوناگونی فراوان پلی‌پپتیدها در طبیعت اهمیت مفهوم ارائه شدهٔ پیشین را بهتر مشخص می‌کند که سلول‌ها می‌توانند پلی‌مرهای گوناگونی با پیوند انواع اندکی از مونومرها بسازند.

## ساختار فضایی و عملکرد پروتئین‌ها

عملکردهای اختصاصی پروتئین‌ها نتیجهٔ معماری و ساختمان سه‌بعدی پیچیده آنهاست که در ساده‌ترین سطح به توالی آمینواسیدی آنها مربوط می‌شود. فردریک سنگر و همکارانش در دانشگاه کمبریج انگلستان، پیشگام تعیین توالی آمینواسیدی پروتئین‌ها بودند که در اواخر دهه ۱۹۴۰ و اوایل دهه ۱۹۵۰ برروی هورمون انسولین کار کردند. او از موادی استفاده کرد که پلی‌پپتیدها را در محل‌های خاصی می‌شکنند و سپس از روش‌های شیمیایی ویژه‌ای برای تعیین توالی آمینواسیدی این قطعات کوچک‌تر استفاده کرد. سنگر و همکارانش، پس از سال‌ها تلاش، موفق به توالی‌یابی کامل انسولین شدند. از آن پس، اغلب مراحل تعیین توالی پلی‌پپتیدها به‌صورت ماشینی انجام می‌شود.

حال که توالی آمینواسیدی یک پلی‌پپتید را آموختیم، باید ببینیم این توالی چه دانشی دربارهٔ ساختمان فضایی و عملکرد پروتئین به ما می‌دهد. واژهٔ پلی‌پپتید کاملاً مترادف واژهٔ پروتئین نیست. حتی برای یک پروتئین دارای یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی، رابطهٔ آنها همانند رابطهٔ بین یک رشته کاموا و یک لباس بافتنی با اندازه و شکل خاص است که می‌توان آن را بافت. یک پروتئین فعال تنها یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی نمی‌باشد بلکه یک یا چند مرحلهٔ چرخش، تا شدن و پیچش در این رشته ایجاد شده تا مولکولی به شکل ویژه را ایجاد کند (شکل ۱۸- ۵). این توالی آمینواسیدی پلی‌پپتیدی است که ساختمان فضایی و سه‌بعدی پروتئین را تعیین می‌کند.

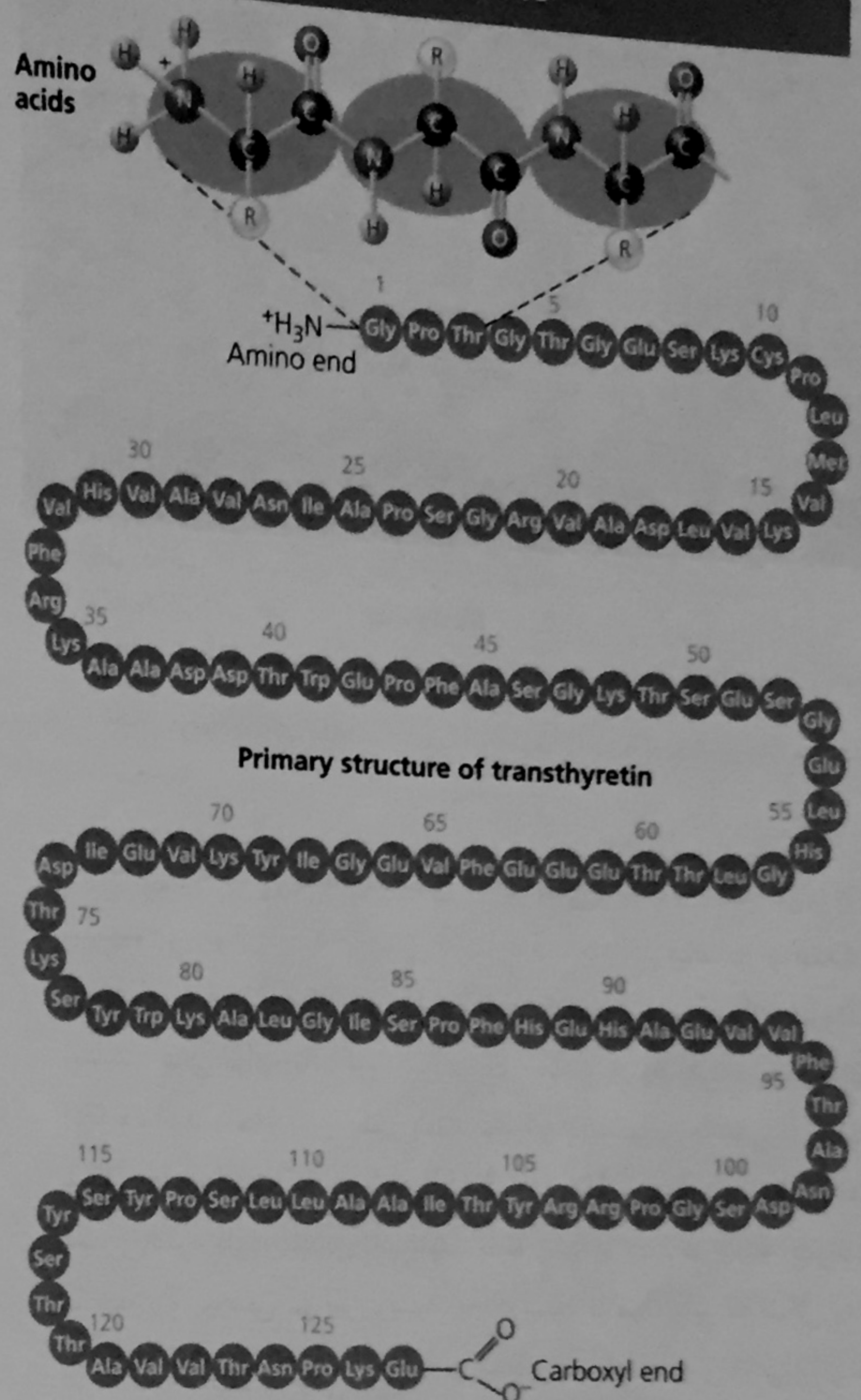



▲ شکل ۱۹- ۵ **یک پادتن به پروتئینی از ویروس آنفلوآنزا متصل شده است.** *روشی که به کریستالوگرافی اشعهٔ X معروف است، برای ایجاد یک مدل کامپیوتری از یک پروتئین پادتن (آبی و نارنجی، چپ) متصل به پروتئین ویروس آنفلوآنزا (سبز و زرد ـ راست) استفاده شده است. سپس برای جداسازی تصاویر از یکدیگر، با هدف آشکارسازی سطوح مکمل بین دو پروتئین، از نرم‌افزار کامپیوتری خاصی استفاده شده است.*

شکل ۲۰-۵

## بررسی سطوح ساختاری پروتئین‌ها

## ساختار اول

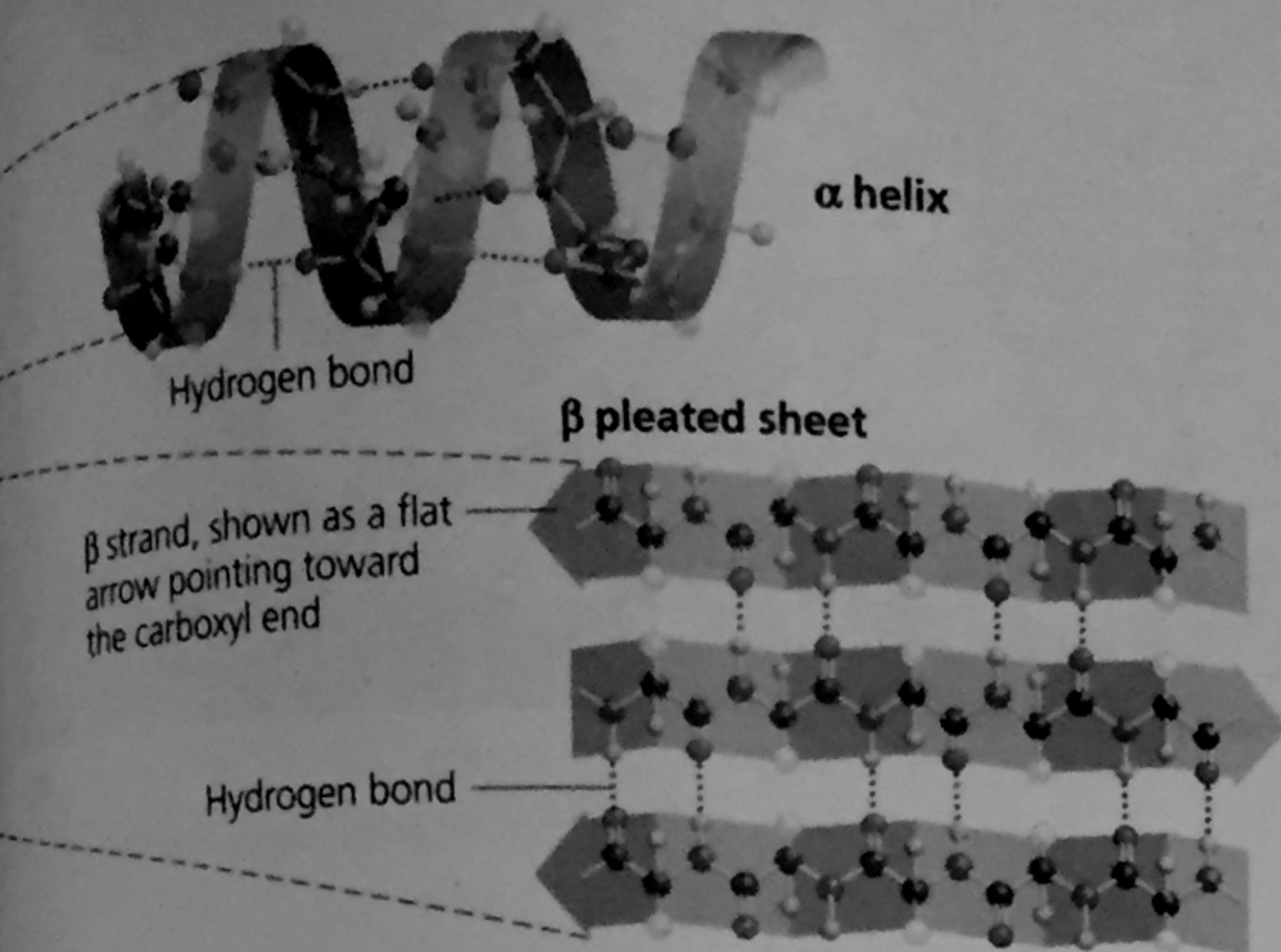



**ساختار اول** یک پروتئین، توالی (آرایش) آمینواسیدهای آن است. برای مثال، پروتئین کروی *ترانس‌تایرتین*[1] را در نظر بگیرید که در خون کار انتقال ویتامین A و یک هورمون تیروئیدی خاص را به سرتاسر بدن انجام می‌دهد. مجموع چهار زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی یکسان آن در کنار یکدیگر پروتئین ترانس‌تایرتین را ایجاد نموده‌اند که دارای ۱۲۷ آمینواسید است. در این‌جا یکی از این زنجیره‌ها برای بررسی بهتر ساختمان اول آن نشان داده شده است. هرکدام از آمینواسیدهای بیست‌تایی با سه حرف اختصاری نشان داده شده‌اند، که در ۱۲۷ جایگاه در طول زنجیره قرار گرفته‌اند.

ساختمان اول همانند دسته‌ای از حروف می‌باشد که در یک واژهٔ بسیار بلند جای گرفته‌اند. این آمینواسیدها می‌توانند از $۲۰^{۱۲۷}$ راه گوناگون، زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی را بسازند. اما ساختمان اول و دقیق یک پروتئین از اتصال نامنظم آمینواسیدها ایجاد نمی‌شود بلکه آرایش آن از روی اطلاعات ژنتیکی تعیین می‌گردد.

1 - Transthyretin

## ساختار دوم




بیشتر پروتئین‌ها دارای بخش‌هایی در زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی خود هستند که در الگوهای پیچ‌خورده یا تاشده تکرار شده‌اند و در ایجاد ساختار فضایی نهایی پروتئین‌ها نقش بسزایی دارند. این پیچ‌خوردگی‌ها و تاخوردگی‌ها را با هم **ساختمان دوم**[2] می‌نامند که از پیوندهای هیدروژنی بین واحدهای تکرارشدهٔ اسکلت پلی‌پپتید حاصل می‌شود (منظور، زنجیره‌های جانبی آمینواسیدهای آن نمی‌باشد). اتم‌های اکسیژن و نیتروژن اسکلت پروتئینی الکترونگاتیو بوده و دارای بارهای جزئی منفی می‌باشند (شکل ۱۶-۲ را ببینید). اتم هیدروژن با بار جزیی مثبت به اتم نیتروژنی می‌پیوندد که برای پیوند به اتم اکسیژن پیوند پپتیدی مجاور تمایل دارد. این پیوندهای هیدروژنی به تنهایی ضعیف می‌باشند اما چون در یک زنجیرهٔ نسبتاً بلند پلی‌پپتیدی بارها تکرار می‌شوند می‌توانند شکل ویژهٔ آن بخش پروتئینی راتعیین نمایند. این ساختار دوم را **مارپیچ آلفا**[3] می‌نامند یعنی پیچشی که در زنجیره با پیوندهای هیدروژنی بین هر چهار آمینواسید ایجاد می‌شود (در شکل ترانس‌تایرتین نشان داده شده است). اگرچه ترانس‌تایرتین تنها یک بخش مارپیچ آلفا دارد (ساختار سوم را ببینید)، دیگر پروتئین‌های کروی دارای چندین بخش مارپیچ آلفا هستند که توسط بخش‌های غیرمارپیچی جدا شده‌اند. برخی از پروتئین‌های رشته‌ای، مانند آلفا کراتین که پروتئین ساختمانی مو است، در بیشتر ساختارشان دارای مارپیچ آلفا هستند.

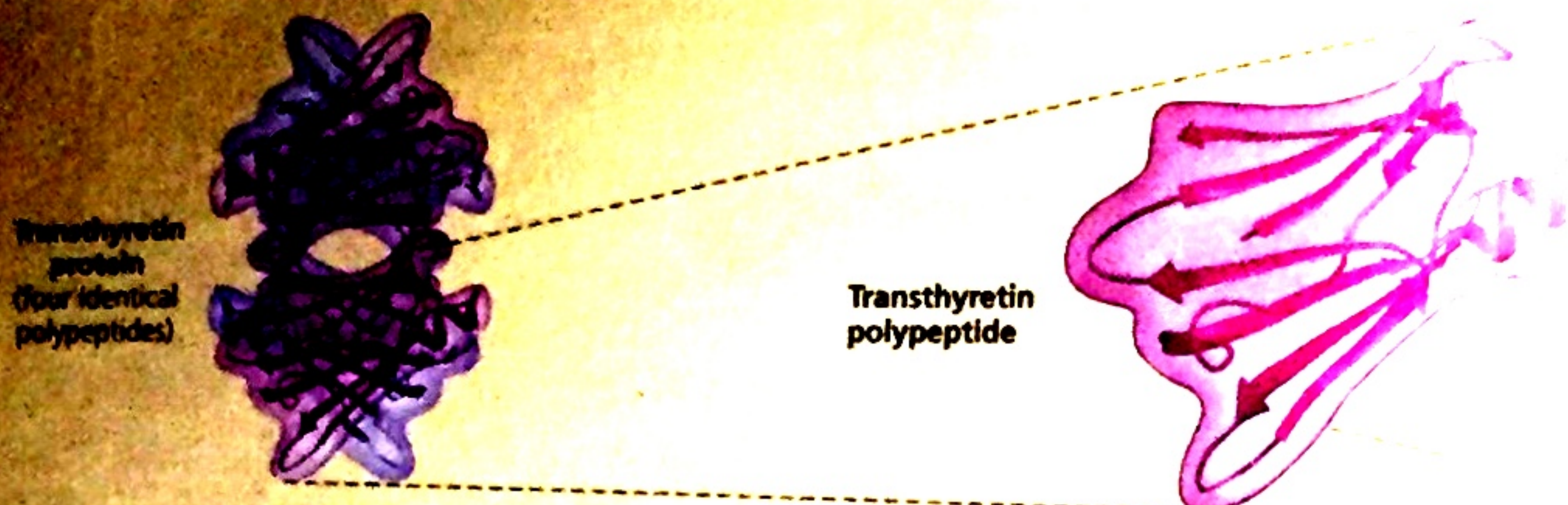


*عنکبوت‌ها رشته‌های ابریشمی را ترشح می‌کنند که از یک پروتئین ساختاری حاوی صفحات چین‌خوردهٔ $\beta$ تشکیل شده‌اند.*

2 - Secondary structure
3 - α helix

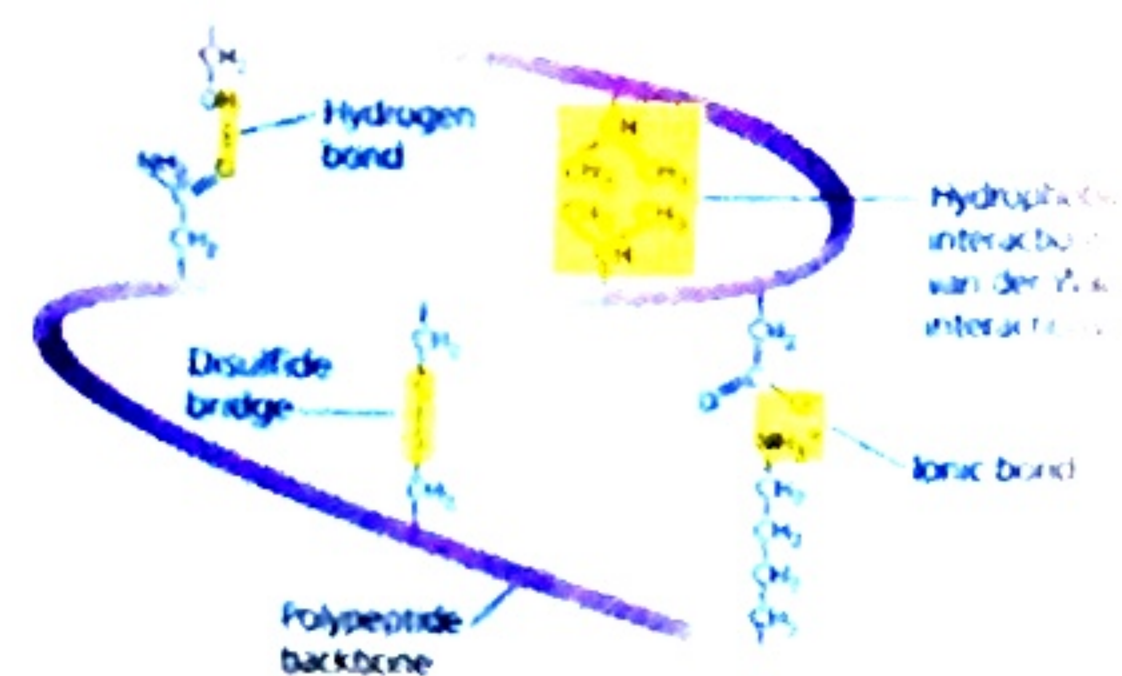
## ساختار سوم

## ساختار چهارم




... صفحات چین‌خوردهٔ β[1] می‌باشد. همان‌گونه که در ... یا چند بخش از زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی در کنار یکدیگر و ... و با تشکیل پیوند هیدروژنی بین دو اسکلت زنجیرهٔ ... صفحات β هستهٔ بسیاری از پروتئین‌های کروی مانند ... پروتئین‌های رشته‌ای مانند پروتئین ابریشمی تارهای ... پیوندهای هیدروژنی ایجادشده باعث می‌شود که یک رشتهٔ ... رشته فولاد هم‌وزنش محکم‌تر باشد.

... الگوهای ساختار دوم، **ساختار سوم**[2] را می‌سازد که در ... پایین نشان داده شده است. در حالی که ساختار دوم ... بین اجزای اسکلت است، ساختار سوم، شکل و ساختار ... که حاصل میانکنش‌های بین زنجیره‌های کناری (گروه‌های ... یک نوع میانکنش که در ایجاد ساختار سوم نقش ... هیدروفوب یا **آب‌گریز**[3] می‌باشد. هنگامی که یک پلی‌پپتید به ... فعال خود تا می‌خورد، آمینواسیدهای با زنجیره‌های جانبی ... مرکز پروتئین و بدون تماس با آب قرار می‌گیرند. بنابراین ... آب‌گریز می‌نامیم در واقع حاصل عمل مولکول‌های آب است ... خود دور کرده و با یکدیگر و با بخش‌های آب‌دوست پروتئین ... قرار می‌کند. از این‌رو، زنجیره‌های جانبی آمینواسیدهای ... یکدیگر قرار می‌گیرند و میانکنش‌های واندروالس به نگهداری ... کمک می‌کند. درحالی‌که پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های ... یونی بین زنجیره‌های جانبی با بار مثبت و منفی به حفظ ... کمک می‌کند. اینها همگی میانکنش‌های ضعیفی هستند ... باعث می‌شود که یک پروتئین ساختار ویژه‌ای به خود بگیرد.

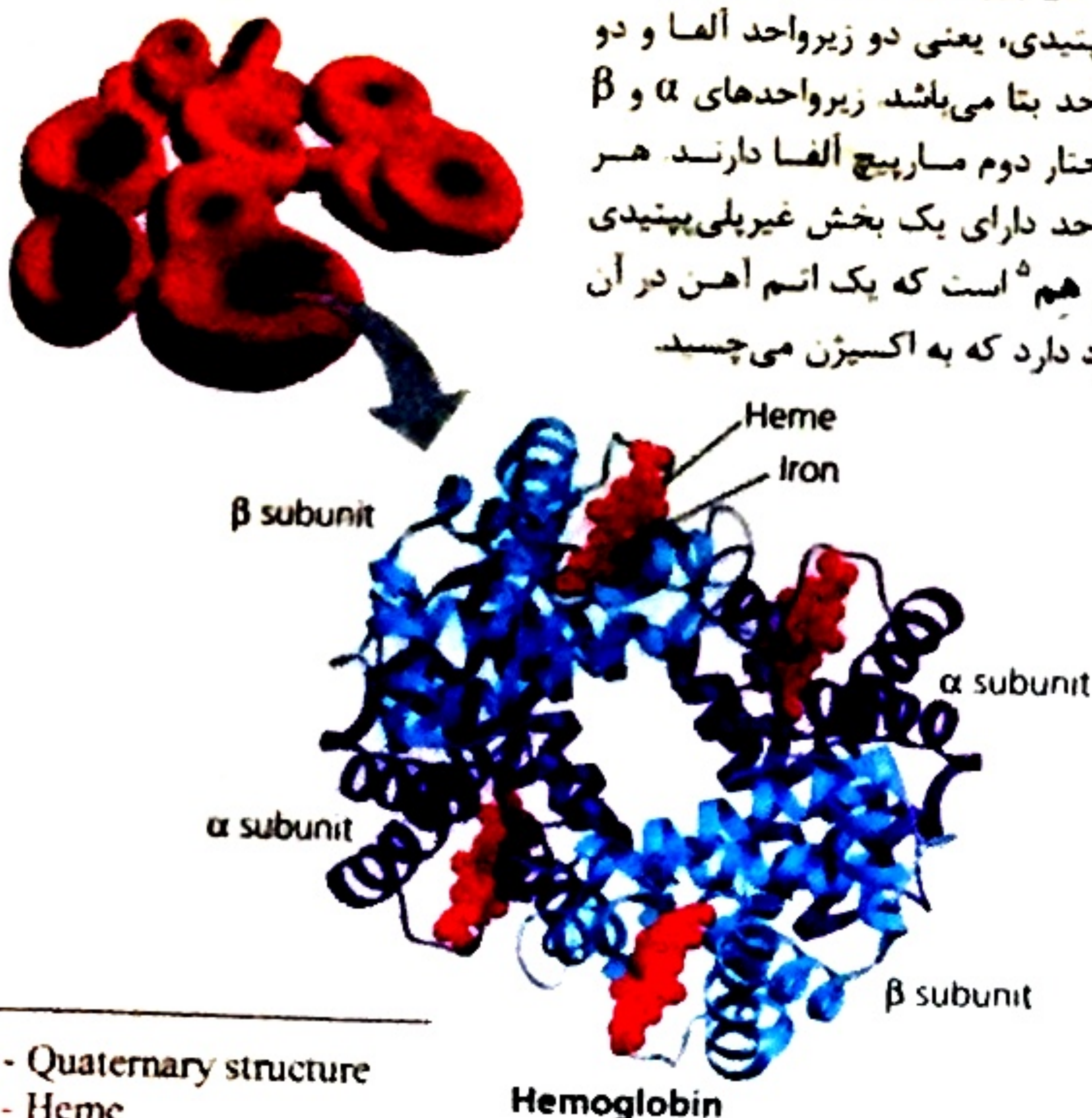



ساختار فضایی یک پروتئین با پیوندهای کووالانسی مانند **پل‌های دی‌سولفیدی** محکم‌تر می‌گردد. پل‌های دی‌سولفیدی در جایی ایجاد می‌شوند که مونومرهای سیستئین، آمینواسیدی با گروه‌های سولفیدریل (-SH) در زنجیرهٔ جانبی خود، با تا شدن پروتئین، در کنار یکدیگر قرار بگیرند. گوگرد سیستئین به سیستئین دیگر پیوند می‌شود و پل دی‌سولفید (-S-S-) بخشی از پروتئین را به هم پیوند می‌دهد. همچنان‌که در پایین در بخشی کوچک از پروتئینی فرضی دیده می‌شود همهٔ این پیوندهای گوناگون می‌توانند در یک پروتئین دیده شوند.

برخی پروتئین‌ها دارای دو یا چند زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی هستند که به‌صورت یک درشت‌مولکول در کنار هم قرار می‌گیرند. **ساختار چهارم**[4]، ساختمان کلی پروتئین می‌باشد که حاصل تجمع زیرواحدهای این پروتئین در کنار یکدیگر است. برای مثال، شکل نشان داده شده در بالا، یک پروتئین کامل کروی ترانس‌تایرتین را نشان می‌دهد که چهار زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی دارد. نمونهٔ دیگر، کلاژن است که در زیر نشان داده شده است و یک پروتئین رشته‌ای با زیرواحدهای مارپیچی می‌باشد. این زیرواحدها به‌دور هم پیچیده شده‌اند و یک مارپیچ سه‌گانه را ایجاد کرده‌اند که استحکام زیادی در پروتئین ایجاد می‌کند. این ویژگی باعث می‌شود که رشته‌های کلاژن در بافت همبند (پیوندی) پوست، استخوان، تاندون‌ها، مفاصل و دیگر بخش‌های بدن قرار بگیرند (کلاژن حدود ۴۰٪ کل پروتئین در بدن انسان را می‌سازد.)




هموگلوبین، پروتئین انتقال‌دهندهٔ اکسیژن در گلبول‌های قرمز خون، که در شکل زیر نشان داده شده، نمونهٔ دیگری از یک پروتئین کروی با ساختار چهارم است. این پروتئین دارای چهار زیرواحد پلی‌پپتیدی، یعنی دو زیرواحد آلفا و دو زیرواحد بتا می‌باشد. زیرواحدهای α و β ساختار دوم مارپیچ آلفا دارند. هر زیرواحد دارای یک بخش غیرپلی‌پپتیدی به‌نام هم[5] است که یک اتم آهن در آن وجود دارد که به اکسیژن می‌چسبد.




---

1- β pleated sheet 2- Tertiary structure 3- Hydrophobic interaction

4- Quaternary structure
5- Heme

| Primary Structure | Secondary and Tertiary Structures | Quaternary Structure | Function | Red Blood Cell Shape |
|---|---|---|---|---|
| 1 Val 2 His 3 Leu 4 Thr 5 Pro 6 Glu 7 Glu | β subunit | Normal hemoglobin; α, β, α, β | Molecules do not associate with one another; each carries oxygen. | Normal red blood cells are full of individual hemoglobin molecules, each carrying oxygen. 10 µm |
| 1 Val 2 His 3 Leu 4 Thr 5 Pro 6 Val 7 Glu | Exposed hydrophobic region; β subunit | Sickle-cell hemoglobin; α, β, α, β | Molecules interact with one another and crystallize into a fiber; capacity to carry oxygen is greatly reduced. | Fibers of abnormal hemoglobin deform red blood cell into sickle shape. 10 µm |

▲ شکل ۲۱-۵ **جانشینی یک آمینواسید منفرد در یک پروتئین سبب بیماری گلبول قرمز داسی شکل می‌شود.**

**ارتباط دهید** *با توجه به مشخصات شیمیایی آمینواسیدهای والین وگلوتامیک اسید (شکل ۱۶-۵ را ببینید)، یک دلیل مناسب در مورد اثر جایگزینی والین به‌جای گلوتامیک اسید بر پروتئین ارائه دهید.*

هنگامی‌که یک سلول، پلی‌پپتیدی را می‌سازد، زنجیره خودبه‌خود تا می‌خورد تا ساختار فضایی و فعال پروتئین را بسازد. این تاخوردن با تشکیل مجموعه‌ای از پیوندها بین بخش‌های زنجیره انجام می‌گیرد که به توالی آمینواسیدهای آن بستگی دارد. بسیاری از پروتئین‌ها کروی هستند درحالی‌که برخی دیگر به‌شکل رشته‌ای می‌باشند. حتی بین این گروه‌های گسترده نیز، تفاوت‌های بی‌شماری وجود دارد.

ساختمان فضایی ویژهٔ یک پروتئین تعیین می‌کند که این پروتئین چگونه کار کند. در هر حال عملکرد پروتئین به توانایی و تشخیص آن و پیوند به مولکول‌های دیگر بستگی دارد. برای مثال یک پادتن به مواد خارجی ویژه‌ای می‌چسبد که بدن را مورد یورش قرار داده‌اند (شکل ۱۹-۵) و یک آنزیم، سوبسترا یا پیش‌ماده را تشخیص داده و به آن می‌چسبد. پیش‌ماده، ماده‌ای است که آنزیم برروی آن اثر می‌کند. در فصل ۲ آموختید که مولکول‌های پیام‌رسان طبیعی به‌نام اندورفین‌ها به پروتئین‌های گیرندهٔ ویژه‌ای در سطح سلول‌های مغزی انسان متصل شده و باعث تسکین درد می‌شوند. مورفین، هروئین و دیگر داروهای مخدر، اثر اندورفین‌ها را دارند چون ساختاری همانند با اندورفین‌ها هستند پس می‌توانند ب گیرنده‌های اندورفین در مغز متصل شوند. این اتصال بسیار ویژه درست مانند قفل و کلید (شکل ۱۸-۲ را ببینید). بنابراین عم یک پروتئین - برای مثال، پروتئین گیرنده در شناسایی و اتص مولکول پیام‌رسان تسکین‌دهندهٔ درد - یک ویژگی ایجادشده ا دستور مولکولی مناسب می‌باشد.

### چهار سطح ساختار پروتئین

در معماری پیچیدهٔ یک پروتئین می‌توان سه سطح ساختا نام‌های ساختار اول، دوم و سوم را تشخیص داد. سطح چه ساختار چهارم هنگامی ایجاد می‌شود که یک پروتئین دارا چند زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی باشد. (شکل ۲۰-۵) این چهار سطح پروتئین را نشان می‌دهد. پیش از ورود به بخش بعدی، مطمئ که این اشکال را به‌طور کامل مطالعه کرده‌اید.

### یماری کم‌خونی داسی‌شکل: یک تغییر در ساختار اول

حتی یک تغییر کوچک در ساختار اول می‌تواند ساختمان فضایی و عملکرد یک پروتئین را تغییر دهد. برای نمونه، جایگزینی مینواسید والین به‌جای گلوتامیک اسید در مکان ویژه‌ای در ساختار خستین هموگلوبین، پروتئین حمل‌کنندهٔ اکسیژن در گلبول‌های قرمز خونی، می‌تواند منجر به بیماری *کم‌خونی داسی‌شکل*[1] شود که یک ناهنجاری خونی ژنتیکی است. گلبول‌های قرمز خون افراد عادی یسکی شکل هستند ولی در بیماری داسی‌شکل، مولکول‌های غیرطبیعی هموگلوبین تمایل به بلوری شدن دارند و برخی از سلول‌ها از شکل اصلی خود خارج شده و به‌شکل داسی درمی‌آیند (شکل ۲۱-۵). ندگی بیمار مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل، هنگامی به نقطهٔ بحرانی خود می‌رسد که سلول‌های نامنظم، رگ‌ها و مویرگ‌های خونی ریز و کوچک را ببندند و گردش خون را مختل نمایند. چنین بیمارانی نمونهٔ برجسته‌ای از چگونگی تغییر ساختمان پروتئین با تغییر کوچکی در ساختار اول را نشان می‌دهند که در عملکرد کلی پروتئین تأثیرگذار می‌باشد.

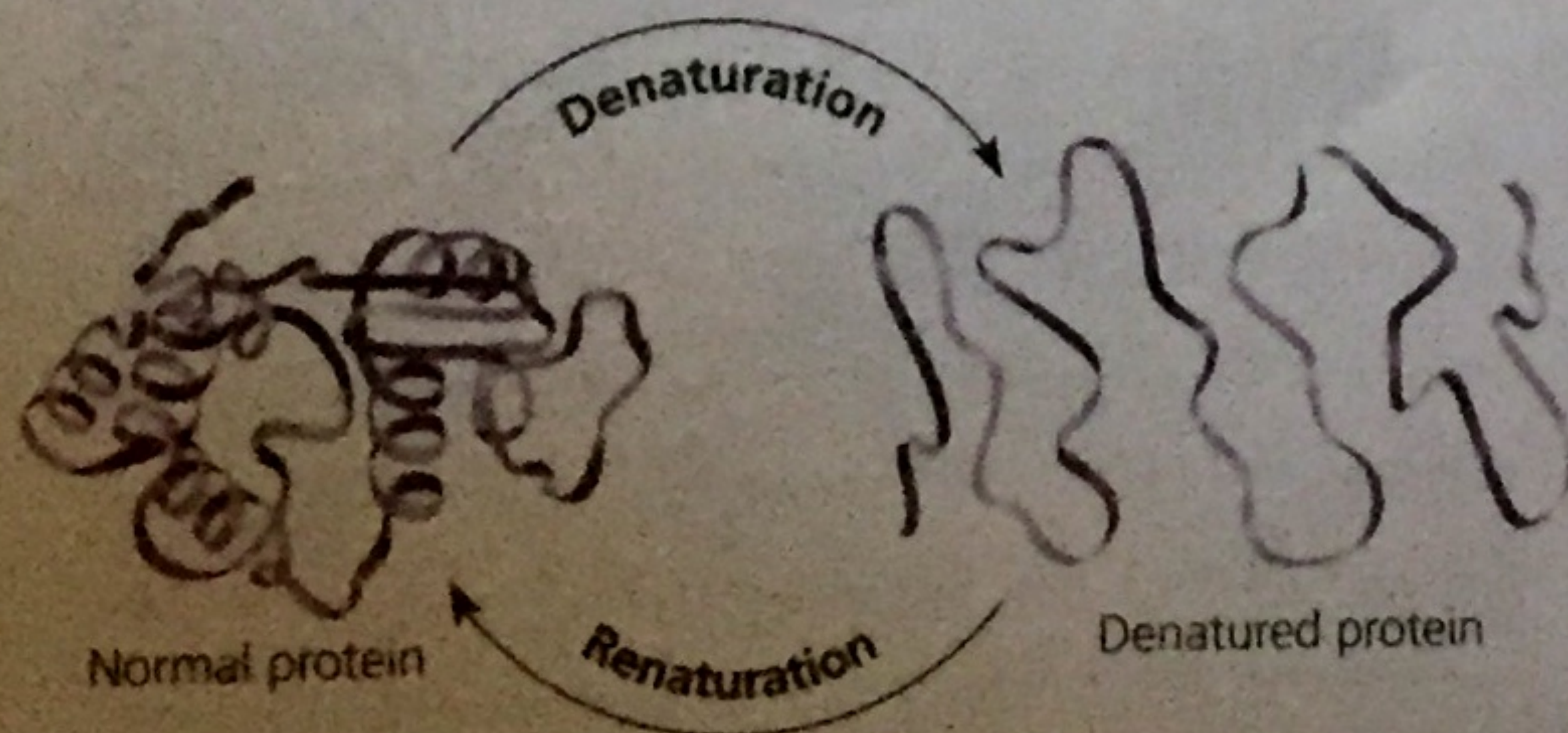
### ه عواملی ساختار فضایی پروتئین را تعیین می‌کنند؟

شما آموختید که شکل ویژهٔ یک پروتئین عملکرد ویژه‌ای به آن روتئین می‌دهد. اما چه عوامل کلیدی، تعیین‌کنندهٔ ساختار فضایی روتئین می‌باشند؟

ا پاسخ این پرسش را می‌دانید؛ یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی با یک ی آمینواسیدی که به‌صورت تصادفی و خودبه‌خودی در کنار هم ار گرفته‌اند به‌صورت یک ساختار سه‌بعدی درآمده و با کنش‌های مسئول ساختار دوم و سوم حفظ می‌گردد. این تاشدن ور عادی در پروتئین تازه ساخته‌شده در سلول رخ می‌دهد. اما تار فضایی پروتئین به شرایط شیمیایی و فیزیکی پیرامون آن س نیز بستگی دارد. اگر pH، غلظت نمک، دما و یا دیگر عوامل لی تغییر کنند، ممکن است پروتئین ساختمان طبیعی‌اش را از دهد که به این حالت **واسرشت شدن یا دناتوراسیون**[2] یند (شکل ۲۲-۵). چون پروتئین واسرشت‌شده دارای شکل یعی است، از لحاظ زیستی غیرفعال می‌باشد.

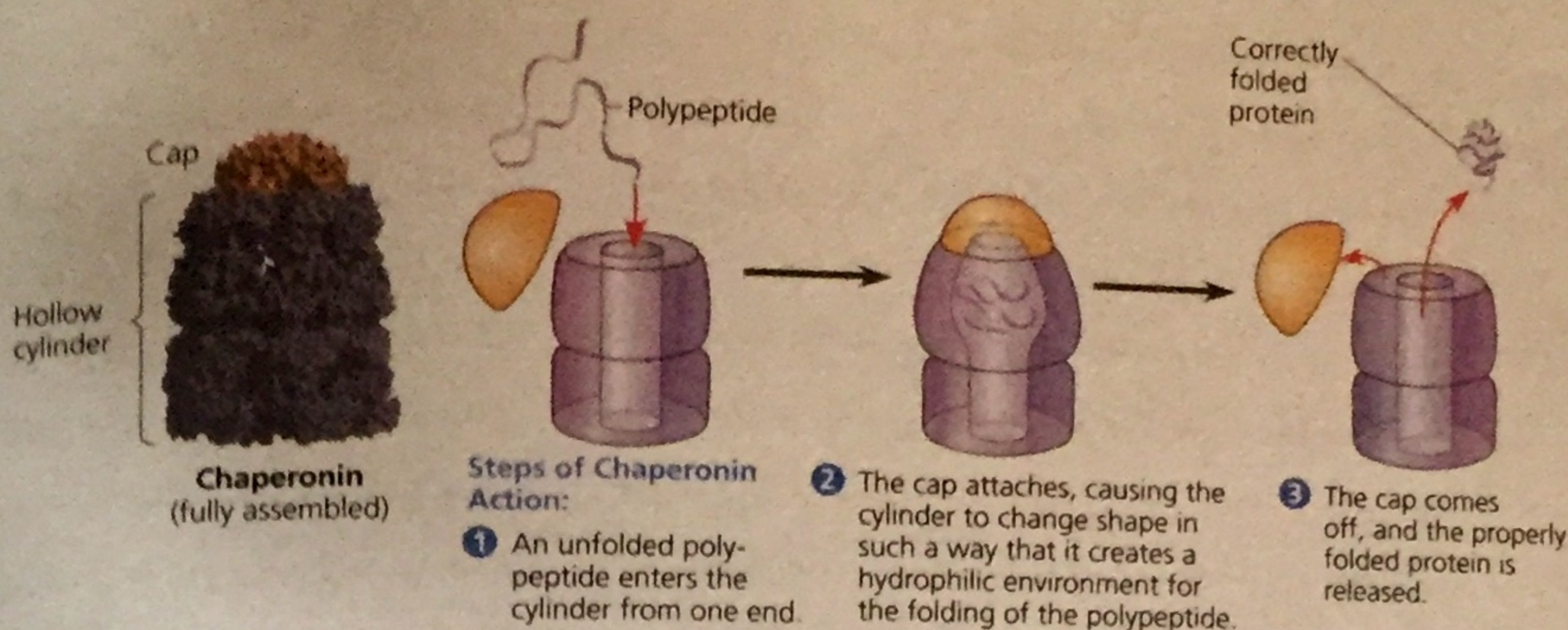
بیشتر پروتئین‌ها در شرایطی که از محیط آبی به یک حلال آلی مثل کلروفرم انتقال یابند غیرطبیعی می‌شوند. در این حالت زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی دوباره تا می‌خورد به‌گونه‌ای که نواحی آب‌گریز به‌طرف حلال قرار می‌گیرند. دیگر عوامل واسرشت‌کننده مانند مواد شیمیایی پیوندهای هیدروژنی، پیوندهای یونی و پل‌های دی‌سولفیدی را که باعث حفظ ساختار پروتئین می‌گردند، از هم باز می‌کنند. همچنین دمای بالا می‌تواند پیوندهای ضعیف پایدارکنندهٔ ساختمان طبیعی پروتئین را باز کند. سفیدهٔ تخم‌مرغ هنگام پختن، سفت می‌شود چرا که پروتئین‌های واسرشت‌شده به‌صورت نامحلول و جامد درآمده‌اند. چنین ویژگی بیان می‌کند که چرا تب بالا کشنده است؛ پروتئین‌های خون در دمای بالای بدن، واسرشت می‌شوند.

هنگامی که یک پروتئین درون یک لولهٔ آزمایش با گرما و مواد شیمیایی واسرشت می‌شود معمولاً با حذف عامل واسرشت‌کننده، دوباره شکل اولیهٔ خود را به‌دست خواهد آورد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اطلاعات دربارهٔ شکل ویژهٔ یک پروتئین در درون و ذات ساختار اول آن پروتئین نهفته است. توالی آمینواسیدی یک پروتئین، تعیین‌کنندهٔ ساختمان فضایی آن پروتئین است. جایی که یک مارپیچ آلفا شکل می‌گیرد؛ جایی که صفحات بتای چین‌خورده وجود دارند؛ جایی که پیوندهای دی‌سولفیدی هستند و جایی که پیوندهای یونی شکل می‌گیرند همگی با توالی آمینواسیدی تعیین می‌شوند. اما در محیط شلوغ سلولی، تاشدن صحیح یک پروتئین در مقایسه با یک لولهٔ آزمایش بسیار پیچیده‌تر است.




▲ شکل ۲۲-۵ **دناتوراسیون (واسرشت شدن) و رناتوراسیون (بازسرشت شدن) یک پروتئین.** *دمای بالا یا تیمار با مواد شیمیایی گوناگون، یک پروتئین را واسرشت (دناتوره) می‌کند به‌گونه‌ای که ساختمان فضایی و توانایی عملکردی خود را از دست می‌دهد. اگر پروتئین واسرشت‌شده به صورت محلول باقی‌بماند، چنانچه شرایط شیمیایی و فیزیکی محیطش به حالت طبیعی برگردانده شود معمولاً دوباره بازسرشت (رناتوره) می‌گردد.*

1 - Sickle-cell disease
2 - Denaturation




**شکل ۲۳-۵ یک چپرونین در عمل.** گرافیک کامپیوتری (چپ) یک کمپلکس چپرونین پروتئینی بزرگ باکتری *E. coli* را نشان می‌دهد. این کمپلکس یک فضای درونی دارد که پناهگاهی برای تاخوردن پلی‌پپتیدهای تازه ساخته شده فراهم می‌کند. کمپلکس شامل دو پروتئین است: یک پروتئین به شکل استوانه‌ای توخالی است؛ دیگری که یک سرپوش است.

### تاخوردن پروتئین در سلول

بیوشیمیست‌ها اکنون توالی آمینواسیدهای بیش از ۱۰ میلیون پروتئین و ساختار سه‌بعدی ۲۰,۰۰۰ پروتئین را شناسایی نموده‌اند. شاید تصور کنیم که به‌دلیل تناسب ساختار اول بسیاری از پروتئین‌ها با ساختمان فضایی آنها، پیداکردن قواعد تاشدن پروتئین‌ها امری آسان است. متأسفانه مسألهٔ تاشدن پروتئین‌ها ساده نیست. بیشتر پروتئین‌ها در مسیر پایدار شدن ساختمان فضایی‌شان چندین حالت بینابین را می‌گذرانند و ساختمان نهایی نیز نمی‌تواند مراحل مورد نیاز برای تاخوردن درست پروتئین را آشکار کند. اما بیوشیمیست‌ها روش‌هایی را برای ردیابی پروتئین از مراحل بینابین تاخوردن یافته‌اند. پژوهشگران همچنین عواملی به‌نام **چَپرونین**[1] (پروتئین‌های **چَپرون**[2]) را کشف کرده‌اند. این مولکول‌های پروتئینی به تاخوردن درست پروتئین‌ها کمک می‌کنند (**شکل ۲۳-۵**). چپرونین، ساختمان پایانی یک پلی‌پپتید را تعیین نمی‌کند. ولی در هنگام تاخوردن خودبه‌خودی پلی‌پپتید تازه ساخته‌شده در سیتوپلاسم، آن را از تاخوردن نادرست دور نگه می‌دارند. چپرونین باکتری *E. coli* که در **شکل ۲۳-۵** نشان داده شده به‌خوبی بررسی شده است. این چپرونین مجموعه‌ای چند پروتئینی مانند یک استوانهٔ توخالی است. حفرهٔ درونی آن جایگاهی برای تاخوردن پلی‌پپتیدهای گوناگون می‌باشد.

تاخوردگی اشتباه پلی‌پپتیدها مشکلی جدی در سلول‌ها محسوب می‌شود. بسیاری از بیماری‌ها مثل آلزایمر، پارکینسون و جنون گاوی با تجمع پروتئین‌های بدتاخورده شده ارتباط دارند. درواقع، وجود انواع بدتاخوردهٔ پروتئین ترانس‌تایرتین، که در شکل ۲۰-۵ نشان داده شده است، در چندین بیماری، که شامل یک نمونه از انواع جنون سالخوردگی نیز هست، ثابت شده است.

حتی هنگامی‌که دانشمندان یک پروتئین واقعی را در اختیار داشته باشند تعیین دقیق ساختمان سه‌بعدی آن ساده نیست چرا که یک پروتئین ساده از هزاران اتم ساخته شده است. **بلورنگاری اشعهٔ X**[3] یک روش خوب برای تعیین ساختمان سه‌بعدی پروتئین است (**شکل ۲۴-۵**). روش دیگر که به تازگی به‌کار رفته است، اسپکتروسکوپی رزونانس مغناطیسی هسته (NMR) می‌باشد که به پروتئین بلورشده نیاز ندارد. این شیوه‌ها که برای درک ساختمان پروتئین به‌کار می‌روند، نکات ظریفی را دربارهٔ عملکرد پروتئین آشکار کرده‌اند.

## آزمون مبحث ۴-۵

۱. چرا یک پروتئین واسرشت‌شده، عملکرد فعالی ندارد؟

۲. چه قسمت‌هایی از یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی در ایجاد پیوند برای تشکیل ساختار دوم شرکت می‌کنند؟ چه قسمت‌هایی برای ایجاد ساختار سوم دخالت دارند؟

۳. **چه می‌شد اگر؟** اگر یک جهش ژنتیکی ساختار اولیهٔ یک پروتئین را تغییر دهد چگونه این عمل موجب برهم خوردن فعالیت این مولکول می‌شود؟

برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.

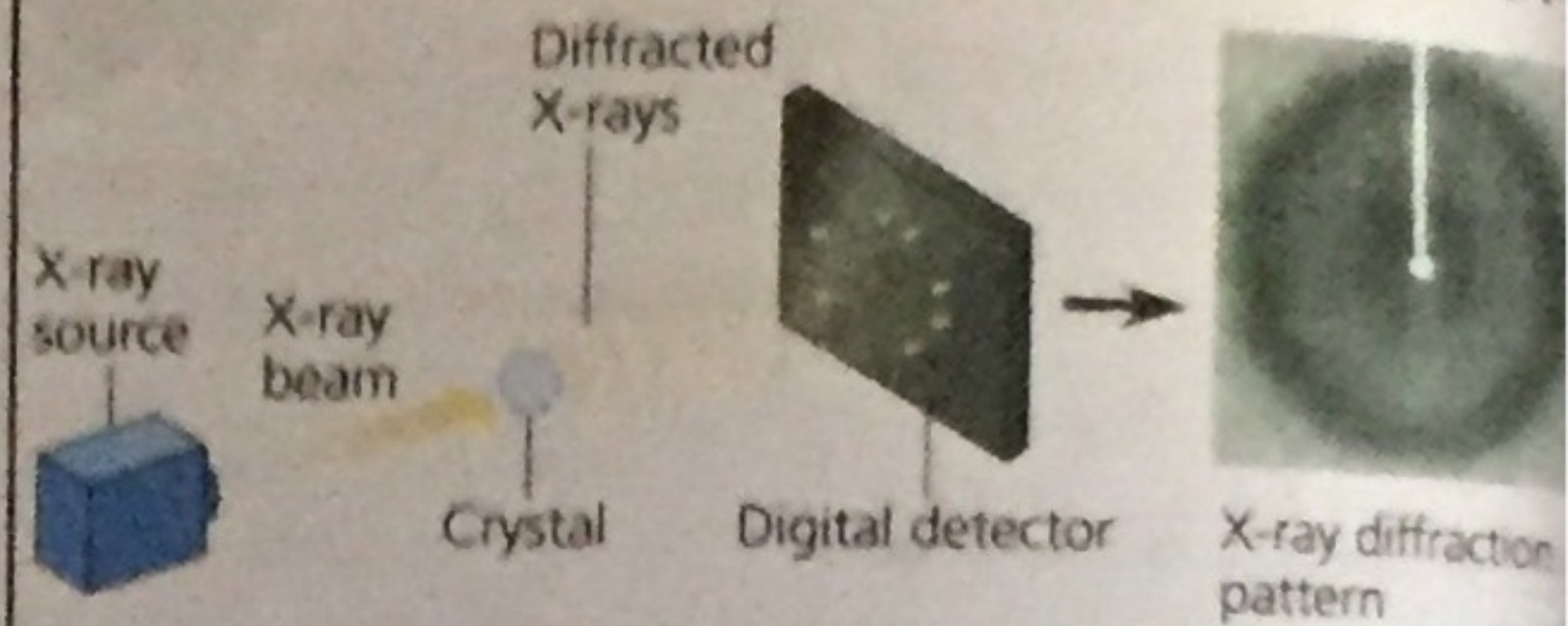
1 - Chaperonins
2 - Chaperone proteins
3 - X-ray crystallography

## پژوهش

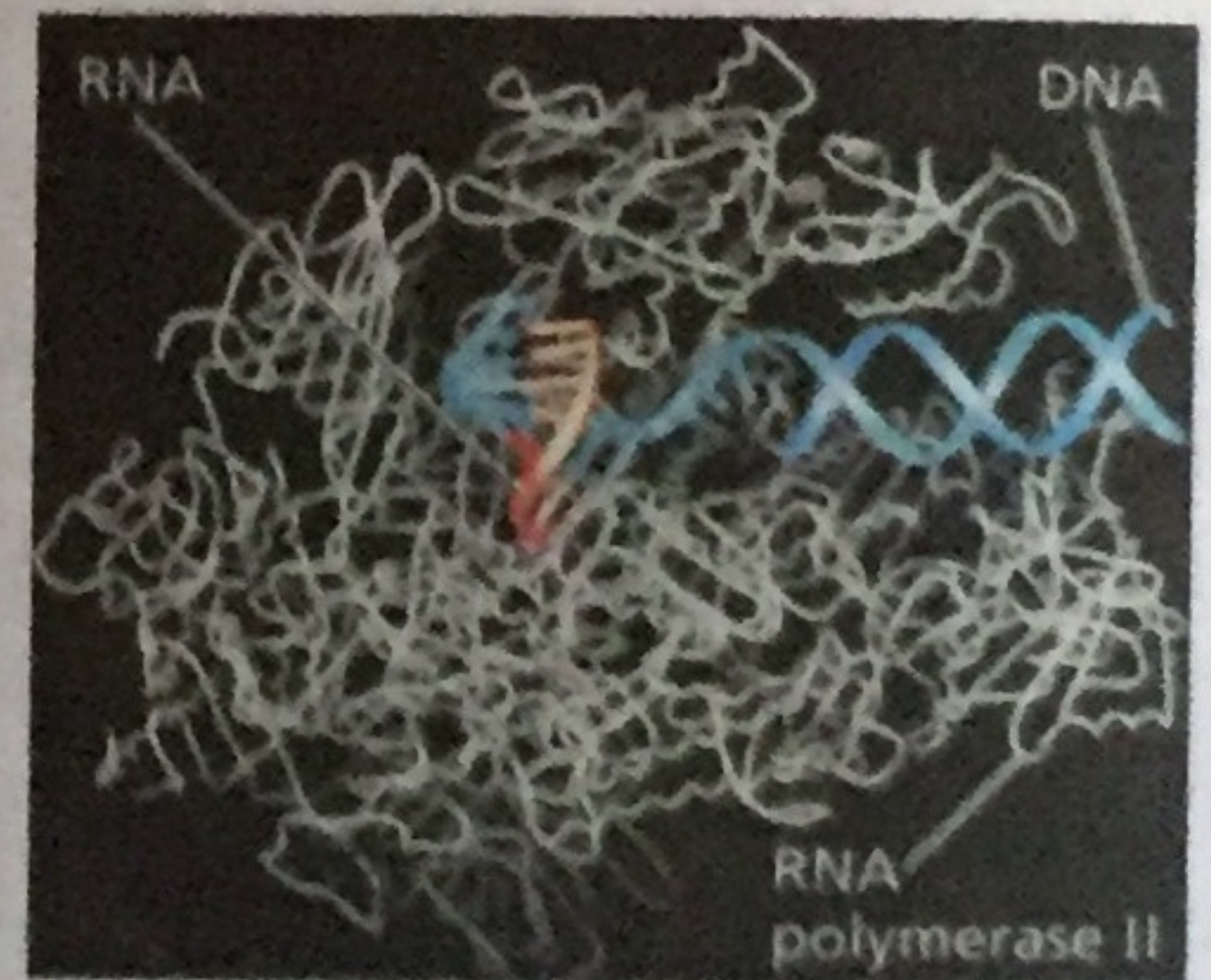
شکل ۲۴-۵

**تحقیق شکل سه‌بعدی آنزیم RNA پلی‌مراز II چه چیزهایی دربارهٔ عملکرد آن در اختیار ما قرار می‌دهد؟**

آزمایش: در سال ۲۰۰۶، راجر کورنبرگ به دلیل استفاده از بلورنگاری اشعهٔ X برای تعیین شکل سه‌بعدی RNA پلی‌مراز II، برندهٔ جایزهٔ نوبل شد. این آنزیم به DNA مارپیچی مضاعف، متصل شده و RNA را می‌سازد. بعد از بلور کردن ترکیبی از این سه (آنزیم، DNA و RNA)، کورنبرگ و همکارانش پرتو اشعهٔ X را به بلور تاباندند. اتم‌های بلور، پرتوهای X را به‌صورت منظم پراکنده می‌کنند و یک ثبت‌کنندهٔ دیجیتالی، آنها را به‌صورت الگویی از نقاط به‌نام الگوی پراکنش اشعهٔ X ثبت می‌کند.




نتایج: کورنبرگ و همکارانش با استفاده از الگوهای پراکنش اشعهٔ X و نیز توالی آمینواسیدی که توسط روش‌های شیمیایی تعیین شد، یک مدل سه‌بعدی از کمپلکس، به کمک نرم‌افزار کامپیوتری، ساختند.




نتیجه‌گیری: این محققان با تجزیه و تحلیل مدل‌شان، فرضیه‌ای دربارهٔ عملکرد مناطق متفاوت RNA پلی‌مراز II ارائه کردند. برای مثال، ناحیهٔ بالای DNA، ممکن است به‌صورت گیره‌ای عمل کند که نوکلئیک اسید را درجای خود نگه می‌دارد. (شما دربارهٔ این آنزیم در فصل ۱۷ بیشتر خواهید آموخت.)

منبع: A. L. Gnatt et al، اساس ساختاری رونویسی: کمپلکس طویل‌سازی RNA پلی‌مراز II. Science (۲۰۰۱) ۱۸۸۲-۱۸۷۶ :۲۹۲

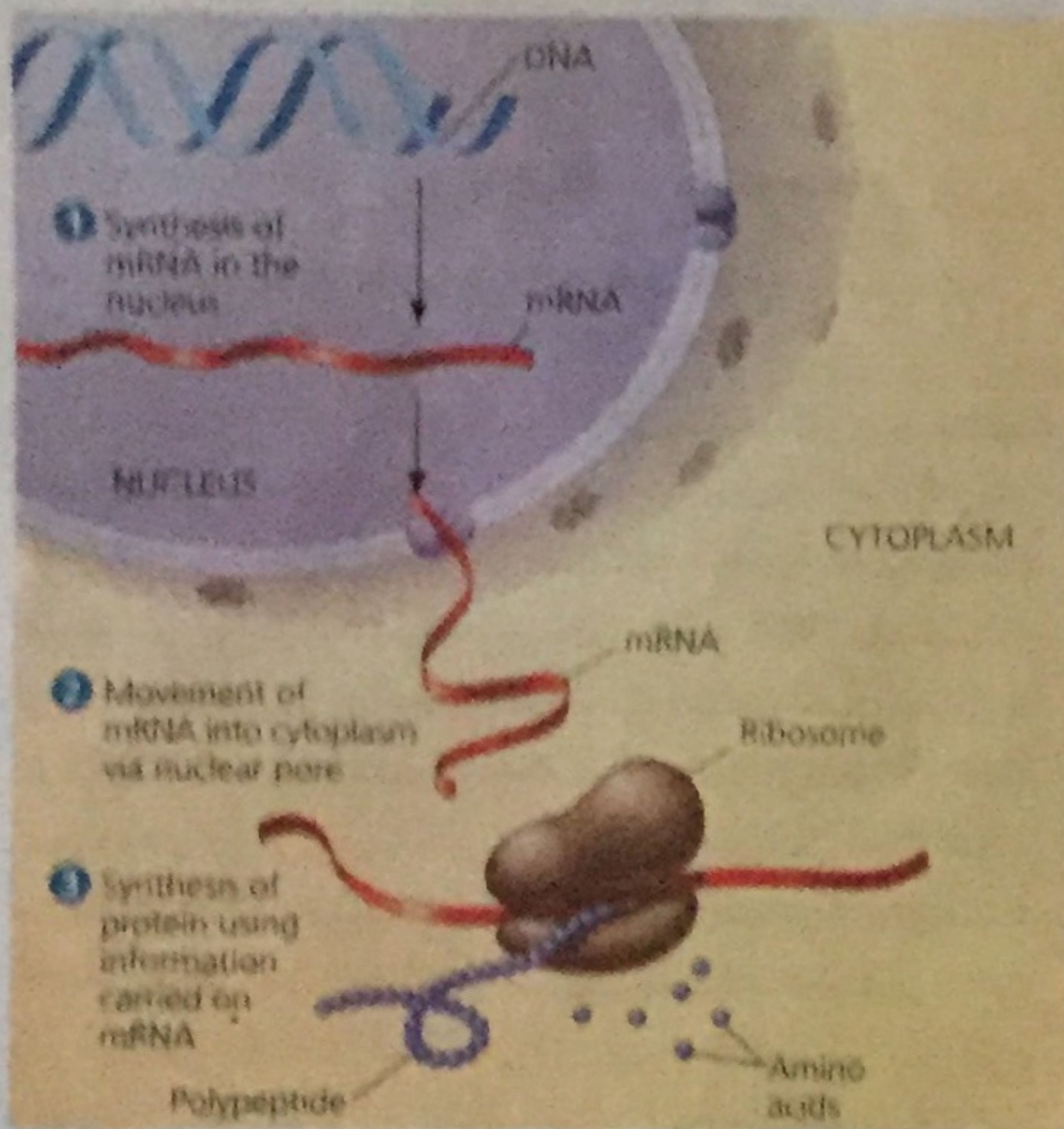
**چه می‌شد اگر؟** اگر نویسندهٔ این مقاله بودید و مدل را توصیف می‌کردید، چه نوع ساختار پروتئینی برای پلی‌پپتید سبز مارپیچی در مرکز در نظر می‌گرفتید؟

## ۵-۵ اسیدهای نوکلئیک اطلاعات وراثتی را ذخیره کرده و انتقال می‌دهند

اگر ساختار اول پلی‌پپتیدها تعیین‌کنندهٔ ساختمان فضایی یک پروتئین است، پس چه عامل ویژه‌ای ساختار اول پروتئین را تعیین می‌کند؟ توالی آمینواسیدی یک پلی‌پپتید توسط واحد ژنتیکی به‌نام ژن[1] برنامه‌ریزی شده است. ژن‌ها بخشی از DNA ـ پلی‌مری از اسیدهای نوکلئیک[2] ـ می‌باشند.

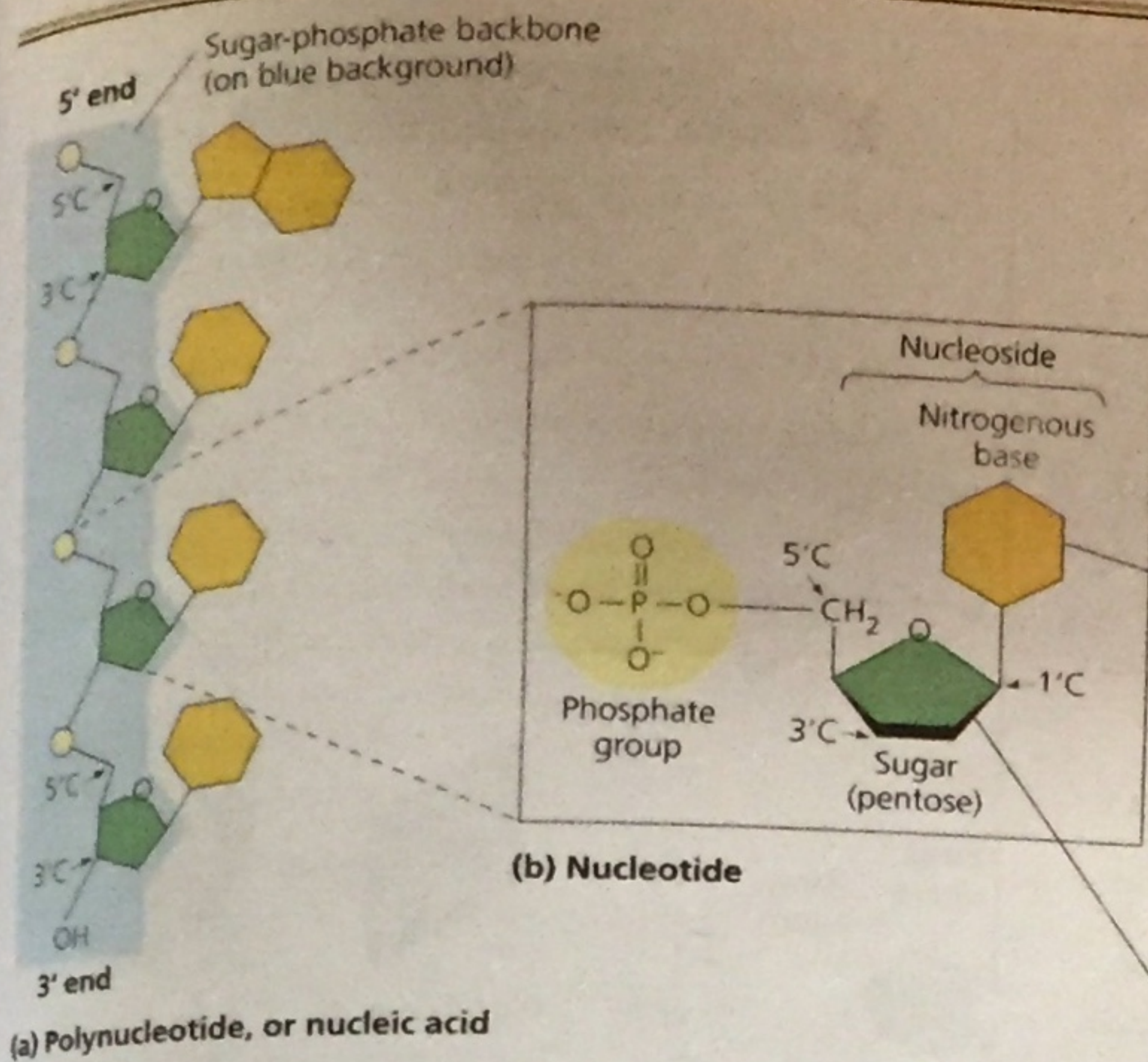
### نقش اسیدهای نوکلئیک

دو نوع اسید نوکلئیک وجود دارد: **دئوکسی‌ریبونوکلئیک اسید (DNA)** و **ریبونوکلئیک اسید (RNA)**. این‌ها مولکول‌هایی هستند که جانداران را قادر به تولیدمثل و انتقال ویژگی‌های پیچیده‌شان از یک نسل به نسل بعد می‌کنند. در میان این مولکول‌ها، DNA تنها مولکولی است که می‌تواند همانندسازی کرده، سنتز RNA را هدایت کند و از طریق RNA نیز سنتز پروتئین‌ها را کنترل نماید (شکل ۲۵-۵).



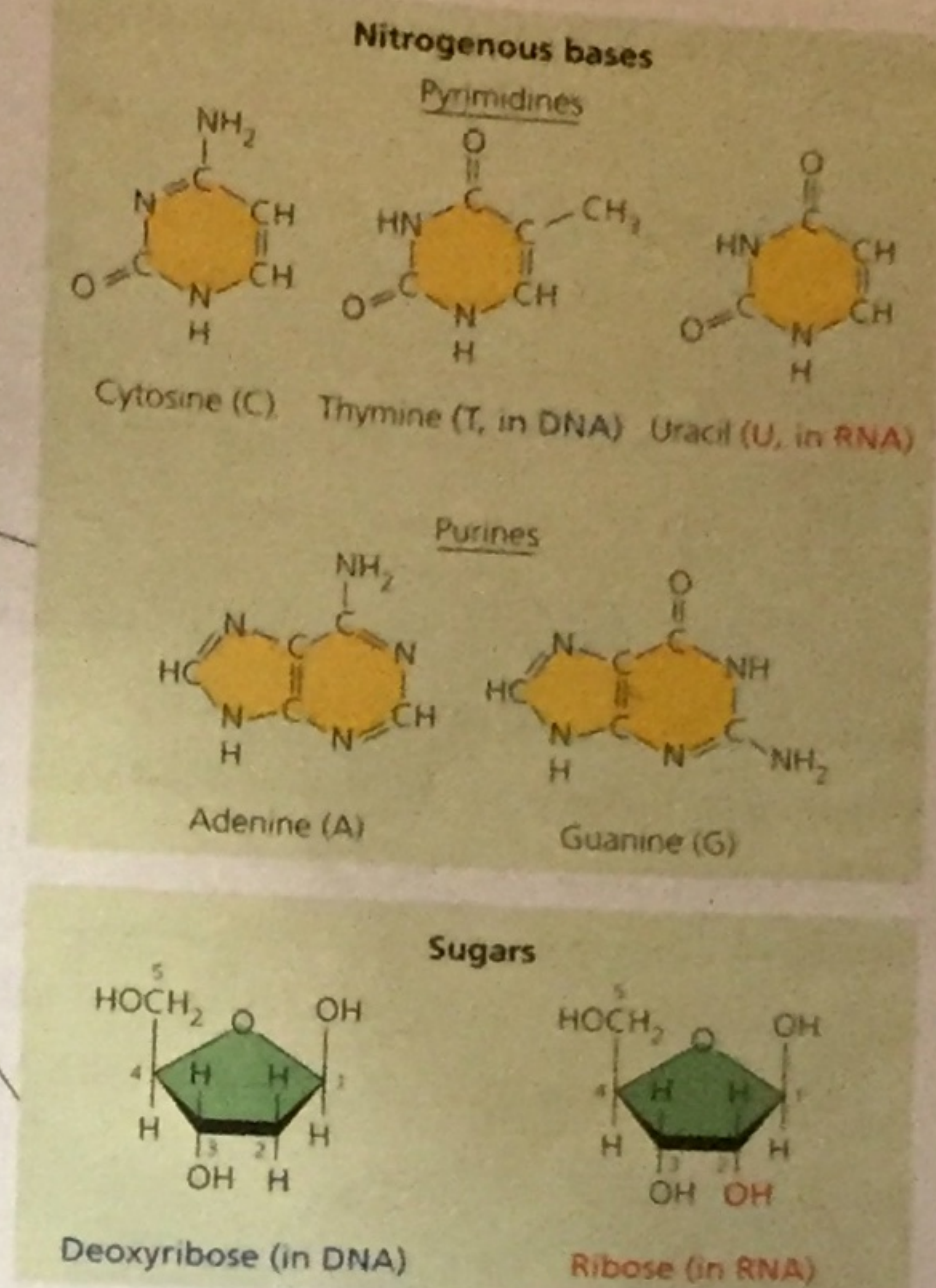

▲ شکل ۲۵-۵ **DNA → RNA → پروتئین** در یک سلول یوکاریوتی. DNAی درون هسته، ساخت RNA پیک را دیکته می‌کند. mRNA از هسته به سیتوپلاسم انتقال یافته و در سیتوپلاسم در ساخت پروتئین شرکت می‌کند و برای این کار به ریبوزوم می‌چسبد. هنگامی که ریبوزوم در راستای mRNA حرکت می‌کند پیام ژنتیکی به‌صورت توالی خاص آمینواسیدهای پلی‌پپتید ترجمه می‌شود.

1 - Gene
2 - Nucleic acids



(a) Polynucleotide, or nucleic acid

(b) Nucleotide




(c) Nucleoside components

▲ **شکل ۲۶ - ۵ اجزای اسیدهای نوکلئیک.** *(a) یک پلی‌نوکلئوتید دارای اسکلت قند- فسفات منظمی همراه با زواید متغیری از چهار باز نیتروژنی است. (b) یک مونومر نوکلئوتیدی دارای سه بخش است: یک باز نیتروژن‌دار، یک قند، و یک گروه فسفات که به هم چسبیده‌اند. بدون گروه فسفات، به ساختمان حاصل، نوکلئوزید گفته می‌شود (c) اجزاء نوکلئوزید شامل یک باز نیتروژنی (پورین یا پیریمیدین) و یک قند پنتوز (ریبوز یا دئوکسی‌ریبوز) است.*

DNA مادهٔ ژنتیکی است که جانداران از والدین خود به ارث می‌برند. هر کروموزوم دربرگیرنده‌ی یک مولکول DNA بلند است که از چندصد تا هزاران ژن تشکیل شده است. هنگامی‌که یک سلول با تقسیم شدن، سلول جدیدی را ایجاد می‌کند، مولکول‌های DNA آن کپی شده و از یک نسل به نسل بعدی انتقال می‌یابد. آنچه که در ساختمان DNA به‌صورت رمز درآمده است اطلاعاتی از برنامه‌ها و کارهای سلولی است. اما، DNA مستقیماً در عملکرد سلولی درگیر نمی‌شود. این حالت تفاوت چندانی با نرم‌افزار کامپیوتری ندارد که به‌تنهایی می‌تواند یک صورتحساب بانکی را چاپ کند یا بارکُد روی یک جعبهٔ غلات را بخواند. همان‌طورکه برای چاپ کردن یک جمله به چاپگر (پرینتر) نیاز داریم و یا برای خواندن یک بارکد به یک اسکنر نیاز است برای برنامه‌های ژنتیکی نیز به پروتئین‌ها نیاز داریم. سخت‌افزار مولکولی سلول - ابزارهای بیشتر اعمال زیستی - پروتئین‌ها می‌باشند. برای نمونه، ناقل اکسیژن در سلول‌های قرمز خون، پروتئین هموگلوبین است نه DNA ای که ساختار آن را تعیین می‌کند.

چگونه مولکول اسید نوکلئیکی دیگر یعنی RNA، وارد گردش اطلاعات ژنتیکی در مسیر DNA تا پروتئین‌ها می‌شود؟ هر ژن در مولکول DNA، ساخت یک نوع RNA را به‌نام *RNA*ی پیک *(mRNA)* تعیین می‌کند. سپس مولکول mRNA با ماشین سازندهٔ پروتئینی میانکنش می‌دهد تا ساخت پلی‌پپتید را به گردش در آورد. ما می‌توانیم گردش اطلاعات ژنتیکی را به‌صورت پروتئین $\rightarrow$ RNA $\rightarrow$ DNA خلاصه کنیم (شکل ۲۵-۵ را ببینید). جایگاه‌های واقعی ساخت پروتئین، ساختارهای سلولی به‌نام ریبوزوم‌ها می‌باشند. در یک سلول یوکاریوتی، ریبوزوم‌ها در سیتوپلاسم‌اند ولی DNA در هسته قرار دارد. RNA پیک اطلاعات ژنتیکی را برای ساخت پروتئین از هسته به سیتوپلاسم می‌برد. سلول‌های پروکاریوتی بدون هسته‌اند ولی آنها نیز از RNA برای انتقال پیام از DNA به ریبوزوم‌ها و دیگر بخش‌های سلولی برای ترجمهٔ اطلاعات به توالی آمینواسیدی بهره می‌برند.

## اجزای اسیدهای نوکلئیک

اسیدهای نوکلئیک، درشت‌مولکول‌هایی هستند که به‌صورت

پلی‌مرهایی به‌نام **پلی‌نوکلئوتیدها**[1] وجود دارند (**شکل ۲۶a- ۵**). همان‌گونه که از نام‌شان پیداست، هر پلی‌نوکلئوتید دارای مونومرهایی به‌نام **نوکلئوتیدها** است. یک نوکلئوتید دارای سه بخش است: یک باز نیتروژنی، یک پنتوز (قند ۵ کربنه) و یک گروه فسفات (**شکل۲۶b - ۵**). همهٔ این بخش‌ها بدون گروه فسفات را نوکلئوزید می‌نامند.

برای ساختن یک نوکلئوتید، ابتدا اجزای دو بخش نوکلئوزید را درنظر می‌گیریم: باز نیتروژنی و قند (**شکل ۲۶c - ۵**). دو خانواده از بازهای نیتروژنی وجود دارد: پیریمیدین‌ها و پورین‌ها. یک **پیریمیدین**[2] دارای یک حلقهٔ شش کربنه و اتم‌های نیتروژن است. (اتم‌های نیتروژن دوست دارند که $H^+$ را از محلول بگیرند که واژهٔ **باز نیتروژنی** را توجیه می‌کند). اعضای خانوادهٔ پیریمیدین شامل سیتوزین (C)، تیمین (T) و یوراسیل (U) هستند. **پورین‌ها** بزرگ‌تر بوده یک حلقهٔ شش کربنه و یک حلقهٔ پنج کربنه دارند. پورین‌ها شامل آدنین (A) و گوانین (G) هستند. پورین‌ها و پیریمیدین‌های خاص در گروه‌های شیمیایی متصل به آنها با یکدیگر تفاوت دارند. آدنین، گوانین، و سیتوزین در هر دو نوع اسید نوکلئیک وجود دارند، تیمین تنها در DNA و یوراسیل تنها در RNA وجود دارد.

پنتوز متصل به باز نیتروژنی، در مولکول RNA، **ریبوز** و در مولکول DNA، **دئوکسی‌ریبوز** می‌باشد (**شکل ۲۶c - ۵**). تنها تفاوت بین این دو قند این است که دئوکسی‌ریبوز یک اتم اکسیژن برروی کربن دوم حلقه کمتر دارد و بنابراین نام این قند نیز دئوکسی است. از آنجا که اتم‌های باز نیتروژنی و قند هر دو شماره‌گذاری می‌شوند، مشخصهٔ اتم‌های قند پس از عدد، علامت پریم (′) می‌باشد. بنابراین کربن دوم حلقهٔ قندی، کربن ′۲ می‌باشد و کربنی که از حلقه بیرون زده شده کربن ′۵ می‌باشد.

تا اینجای کار ما یک نوکلئوزید ساختیم. برای کامل کردن یک نوکلئوتید، یک گروه فسفات به کربن ′۵ قند می‌چسبد (شکل ۲۶b - ۵ را ببینید). مولکول ایجادشده یک نوکلئوزید مونوفسفات یا همان نوکلئوتید می‌باشد.

### پلی‌مرهای نوکلئوتیدی

اکنون می‌توان دید که چگونه دو نوکلئوتید به یکدیگر پیوند می‌شوند تا یک پلی‌نوکلئوتید را بسازند. نوکلئوتیدهای مجاور هم با پیوندهای کووالانسی به‌نام فسفودی‌استر متصل می‌شوند که بین گروه OH کربن ′۳ یک نوکلئوتید و فسفات ′۵ بین ′۵ نوکلئوتید بعدی ایجاد می‌شود. این پیوندها در اسکلت، پلی‌مر با الگوی تکراری واحدهای قند - فسفات همراه است (شکل ۲۶a - ۵ را ببینید). دو انتهای آزاد پلی‌مر متفاوت از هم می‌باشند. یک انتها دارای فسفات متصل به کربن ′۵ است و انتهای دیگر دارای هیدروکسیل کربن ′۳ می‌باشد، که به‌ترتیب به آنها انتهای ′۵ و انتهای ′۳ گفته می‌شود. رشتهٔ DNA در طول اسکلت قند - فسفات در جهت ′۵ به ′۳ ساخته می‌شود، درست همانند خیابان یک‌طرفه. در راستای این اسکلت قند فسفات بخش‌های اضافی بیرون از اسکلت وجود دارد که شامل بازهای نیتروژنی می‌باشند.

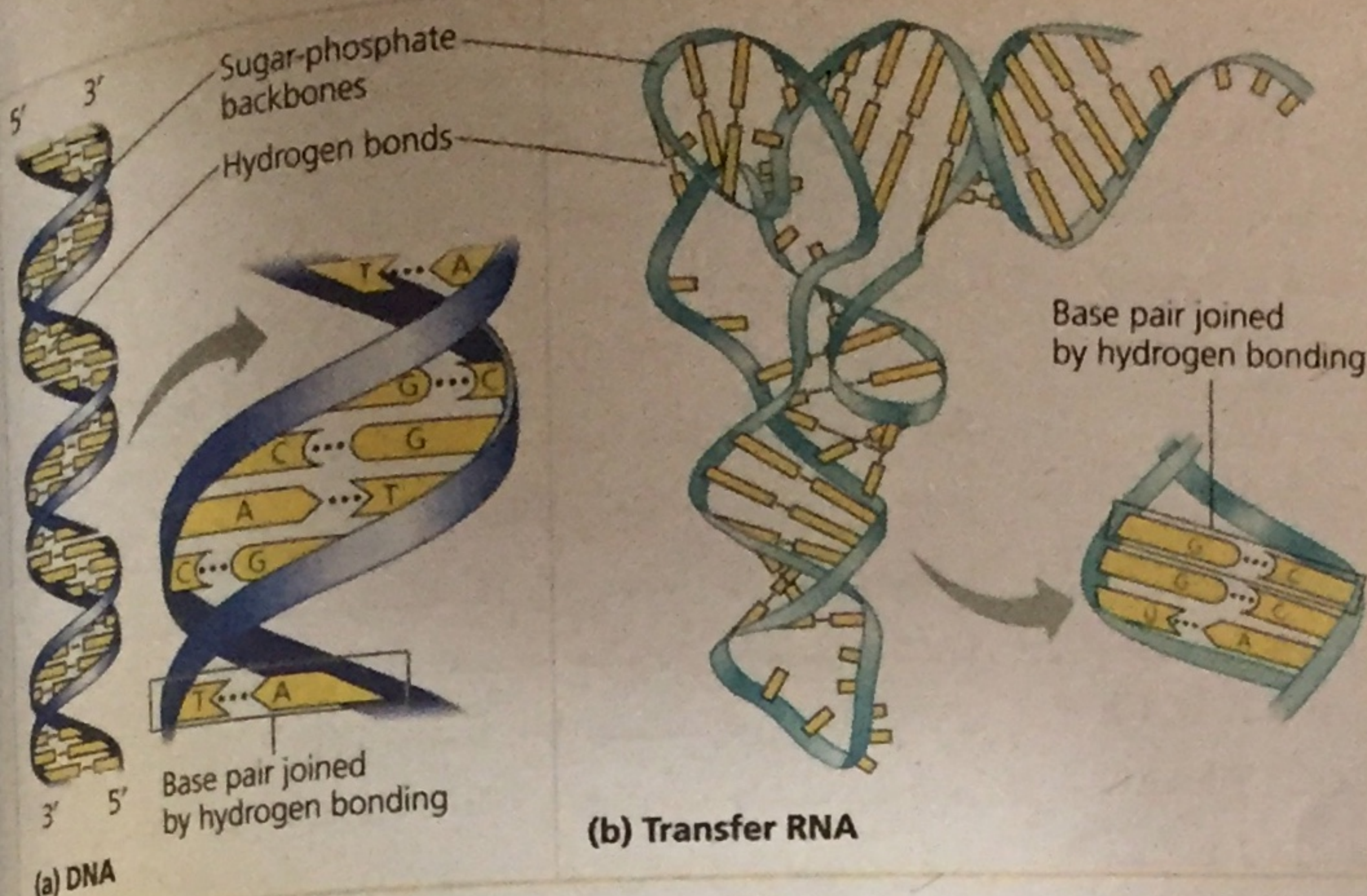
توالی بازها در طول پلی‌مر DNA (یا mRNA) برای هر ژن منحصربه‌فرد است. چون ژن‌ها صدها تا هزاران نوکلئوتید دارند، تعداد توالی‌های ممکن باز، عملاً بی‌شمار است. معنی و مفهوم یک ژن برای سلول، در توالی ویژهٔ چهار باز DNA می‌باشد. برای مثال توالی AGTAACTT یک معنی را می‌دهد درحالی‌که توالی CGCTTTAAC معنی دیگری دارد (البته ژن‌های واقعی بلندتر هستند). ترتیب خطی بازها در یک ژن توالی آمینواسیدها را مشخص می‌سازد - ساختار اول پروتئین - که این ترتیب نیز به‌نوبهٔ خود، عملکرد و ساختمان سه‌بعدی پروتئین را در سلول تعیین می‌کند.

### ساختار مولکول‌های DNA و RNA

مولکول‌های RNA سلول‌ها شامل یک زنجیرهٔ تک پلی‌نوکلئوتیدی مانند آنچه که در **شکل ۲۶- ۵** نشان داده شده است می‌باشد. ولی مولکول‌های DNA دو رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی دارند که به‌دور یک محور فرضی به‌صورت مارپیچی می‌چرخند و تشکیل یک **مارپیچ دورشته‌ای** را می‌دهند (**شکل ۲۷a -۵**).

در سال ۱۹۵۳ جیمز واتسون و فرانسیس کریک در دانشگاه کمبریج برای نخستین بار مارپیچ دورشته‌ای را به‌عنوان ساختار سه‌بعدی DNA پیشنهاد دادند. دو اسکلت قند - فسفات در جهت مخالف ′۵ به ′۳ از یکدیگر قرار می‌گیرند که به این آرایش **ناهمسو**[3] گفته می‌شود، درست همانند یک بزرگراه دو طرفه. اسکلت‌های قند - فسفات در بخش بیرونی مارپیچ و بازهای نیتروژنی در بخش درونی مارپیچ قرار می‌گیرند. دو پلی‌نوکلئوتید یا رشته‌ها با پیوندهای هیدروژنی بین بازهای جفت‌شده و با میانکنش‌های واندروالس بین بازهایی که روی هم قرار گرفته‌اند در کنار یکدیگر نگه داشته می‌شوند. بیشتر مولکول‌های DNA بسیار بلندند و هزاران یا حتی میلیون‌ها جفت‌باز دارند که دو زنجیره را به‌هم پیوند می‌دهند. یک مارپیچ دورشته‌ای DNAای بلند دارای ژن‌های زیادی است، که هر کدام از این ژن‌ها تکهٔ خاصی از مولکول DNA به‌شمار می‌رود.

1 - Polynucleotides
2 - Pyrimidine
3 - Antiparallel




▶ **شکل ۲۷-۵ ساختار مولکول‌های DNA و tRNA.** *(a)* مولکول *DNA* معمولاً به‌صورت دورشته‌ای بوده و دارای اسکلت‌های قند ـ فسفات در رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی ناهمسو است (در اینجا به‌وسیلهٔ نوارهای آبی نشان داده شده است). آنچه که دو رشته را در کنار هم نگه داشته، بازهای نیتروژنی است که با پیوند هیدروژنی به‌هم متصل شده‌اند. همان‌گونه که در این‌جا نشان داده شده، باز آدنین *(A)* تنها با تیمین *(T)* جفت می‌شود، گوانین *(G)* نیز تنها با سیتوزین *(C)* جفت می‌گردد. هر رشتهٔ *DNA* در این شکل معادل ساختار پلی‌نوکلئوتیدی رسم‌شده در شکل *a*۲۶- ۵ می‌باشد. *b)* مولکول *tRNA* دارای ساختاری *L* شکل است که در آن بازهای مکمل در قطعاتی ناهمسو از *RNA*، جفت باز تشکیل داده‌اند. در *RNA*، *A* با *U* جفت می‌شود.

بازها در مارپیچ دورشته‌ای به‌طور خاصی مکمل یکدیگر هستند. آدنین (A) همیشه با تیمین (T) جفت می‌شود و گوانین (G) با سیتوزین (C). اگر توالی بازها را در طول یک رشته بخوانیم، توالی بازهای رشتهٔ مقابل را خواهیم دانست. اگر بخشی از یک رشته دارای توالی ′۳-AGGTCCG-′۵ باشد، قوانین جفت‌شدن بازها مشخص می‌کنند که همان بخش برروی رشتهٔ مقابل دارای توالی ′۵-TCCAGGC-′۳ است. دو زنجیرهٔ مارپیچ دورشته‌ای، مکمل هم می‌باشند. این ویژگی DNA است که درستی همانندسازی صحیح را از ژن‌ها ممکن می‌سازد. در هنگام تقسیم سلولی هرکدام از دو رشتهٔ مولکول DNA به‌عنوان الگویی برای جای‌گیری درست نوکلئوتیدها در رشتهٔ مکمل تازه عمل می‌کنند. نتیجهٔ این فرایند دو کپی کاملاً یکسان از مولکول DNAی دو رشته‌ای نخست می‌باشد، که هر کدام به دو سلول دختر می‌رود. بنابراین ساختمان DNA برای انتقال اطلاعات ژنتیکی در هنگام تولیدمثل سلولی اهمیت فراوان دارد.

جفت‌بازهای مکمل می‌توانند بین بخش‌هایی از دو مولکول RNA و یا حتی بین دو امتداد و توالی نوکلئوتیدی در یک مولکول RNAی واحد به‌وجود بیایند. درواقع، اتصال جفت‌بازی در درون یک مولکول RNA به مولکول اجازه می‌دهد که در آن یک ساختار سه‌بعدی متناسب و لازم برای عملکردش به‌وجود بیاید. از این لحاظ، مثلاً، یک نوع RNA به‌نام RNAی حامل *(tRNA)*،[1] که در فرایند ساخت پلی‌پپتید آمینواسیدهای را به ریبوزوم می‌برد، وجود دارد که حاوی حدود ۸۰ نوکلئوتید در طول خود است. شکل کارآمد این مولکول نتیجهٔ اتصال جفت‌بازهای مکمل بین نوکلئوتیدهاست که در طول مولکول به‌صورت ناهمسو نسبت به یکدیگر واقعند. (شکل ۲۷b-۵)

توجه داشته باشید که در RNA، آدنین (A) با یوراسیل (U) جفت می‌شود و تیمین (T) هم در RNA وجود ندارد. تفاوت دیگر RNA با DNA در این است که DNA اغلب به‌صورت مارپیچ دورشته‌ای وجود دارد. درحالی‌که مولکول‌های RNA تنوع شکلی زیادی دارند. همان‌طوری‌که در بخش ۱۷ خواهید دید، این تنوع ناشی از مقدار و جایگاه استقرار جفت‌بازهای مکمل در درون مولکول RNA است که انواع مختلفی از RNA را به‌وجود می‌آورد.

## DNA و پروتئین‌ها به‌عنوان معیارهای تکامل

ما معمولاً عادت داریم که به ویژگی‌هایی همچون مو و شیر در پستانداران به‌عنوان دلیلی برای وجود اجداد مشترک فکر کنیم. از آنجایی‌که ما می‌دانیم DNA اطلاعات وراثتی را به شکل ژن‌ها حمل می‌کند، می‌توان پی برد که ژن‌ها و فرآورده‌هایشان (پروتئین‌ها)، زمینهٔ وراثتی یک جاندار را تعیین می‌کنند. توالی‌های خطی نوکلئوتیدها در مولکول‌های DNA از والدین به فرزندان انتقال می‌یابند که این توالی‌ها آرایش آمینواسیدی پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند. خواهرها و برادرها همانندی فراوانی در DNA و پروتئین‌هایشان نسبت به افراد غیرخویشاوند از همان‌گونه دارند. اگر نگرش تکاملی حیات درست باشد باید بتوان مفهوم ژن‌شناسی مولکولی را به روابط بین گونه‌ها گسترش داد. دو گونه که برپایهٔ مدارک کالبدشناسی و سنگواره‌ای بسیار به‌هم نزدیک هستند، DNA و پروتئین‌های مشترک بیشتری دارند. برای مثال اگر زنجیرهٔ

---
1 - Transfer RNA

پلی‌پپتیدی هموگلوبین انسان را با هموگلوبین پنج مهره‌دار دیگر مقایسه کنیم این نتایج به‌دست می‌آید؛ در این زنجیرهٔ ۱۴۶ آمینواسیدی، انسان‌ها و گوریل‌ها تنها در یک آمینواسید، انسان‌ها و گیبون‌ها تنها در دو آمینواسید، و انسان‌ها و میمون‌ها در هشت آمینواسید با هم اختلاف دارند. گونه‌های مرتبط بسیار دور دارای زنجیره‌هایی با همانندی بسیار کم می‌باشند. انسان‌ها و موش‌ها در ۲۷ آمینواسید و انسان‌ها و قورباغه‌ها در ۶۷ آمینواسید اختلاف دارند. زیست‌شناسی مولکولی معیاری را به جعبهٔ‌ابزار زیست‌شناسان افزوده است تا به کمک آن خویشاوندی تکاملی را شناسایی کنند.

## پرسش‌های مبحث ۵-۵

۱. به شکل ۲۶a - ۵ مراجعه و تعداد کربن‌های قندهای سه نوکلئوتید بالایی را شمارش کنید. دور بازهای نیتروژنی خط بکشید و فسفات‌ها را علامت بزنید.

۲. در یک مارپیچ دورشته‌ای DNA، یک ناحیهٔ بلند از رشتهٔ DNA دارای توالی بازهای نیتروژنی به‌صورت: ′۵-TAGGCCT-′۳ می‌باشد. توالی بازی رشتهٔ مکمل این مولکول و انتهای ′۵ و ′۳ آن را مشخص نمائید.

۳. **چه می‌شد اگر؟** فرض کنید در مارپیچ دورشته‌ای DNA سؤال قبلی در یکی از رشته‌ها یک جایگزینی رخ دهد و مولکول به‌صورت

′۵ TAAGCCT ′۳
′۳ ATCCGGA ′۵

دربیاید. این دورشته را بازنویسی کرده و دور اتصالات بازی اشتباه خط بکشید. b) اگر رشتهٔ تغییریافتهٔ بالایی برای تولید رشتهٔ مکمل توسط سلول مورد استفاده قرار گیرد، چه بر سر رشته مقابل آن خواهد آمد؟

*برای ملاحظهٔ پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.*

## مفهوم ویژگی‌های نوپدید در شیمی حیات: مرور

به‌یاد آورید که زندگی در راستای یک سلسله سطوح ساختمانی سازماندهی شده است (شکل ۴-۱ را ببینید). با هر افزایش سطح، ویژگی‌های جدیدی ایجاد می‌شود. در فصول ۲ تا ۵، شیمی حیات را بررسی کردیم. همچنین به توسعهٔ نگرشی جامع‌تر از حیات و چگونگی پیدایش ویژگی‌های جدید با افزایش نظم پرداختیم.

دیدیم که رفتار غیرمعمول آب که برای زندگی برروی زمین ضروری است حاصل برهمکنش بین مولکول آب و آرایش منظم بین اتم‌های هیدروژن و اکسیژن می‌باشد. پیچیدگی و گوناگونی مولکول‌های آلی را به ویژگی‌های شیمیایی کربن نسبت دادیم؛ اما دیدیم که ویژگی‌های بی‌همتای ترکیبات آلی به آرایش ساختاری اسکلت کربنی و گروه‌های فعال متصل به آنها بستگی دارد. آموختیم که مولکول‌های آلی کوچک به‌صورت مولکول‌های بزرگ درمی‌آیند. همچنین مشخص کردیم که درشت‌مولکول‌ها همانند مونومرهای سازنده‌شان رفتار نمی‌کنند، بلکه ویژگی‌های خاصی پیدا می‌کنند که حاصل برهمکنش بین مونومرهای‌شان می‌باشد. با کامل کردن نگرش خود دربارهٔ پایهٔ مولکولی حیات، با مقدمه‌ای بر رده‌های مهم درشت‌مولکول‌هایی که سلول‌های زنده را می‌سازند می‌توانیم به بخش ۲، جایی که ساختمان و عملکرد سلولی مورد مطالعه قرار می‌گیرد، پلی بزنیم. از یک سو به کوچک‌سازی حیات به‌صورت گروهی از فرایندهای ساده‌تر نیاز داریم و از سوی دیگر باید به بررسی این فرایندها در شرایط کلی (طبیعی) بپردازیم و سعی کنیم همواره بین این دو نیاز تعادل برقرار نمائیم.

# 5 مرور فصل

**۵-۱ درشت‌مولکول‌ها پلی‌مرهایی هستند که از واحدهای مونومری ساخته شده‌اند**

کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک **پلی‌مر** هستند: زنجیره‌ای از مونومرها. لیپیدها ترکیبات متنوعی دارند. مونومرهای مولکول‌های درشت به‌وسیلهٔ **واکنش‌های دهیدراسیون**، که با خروج مولکول‌های آب رخ می‌دهد، به هم متصل می‌شوند. پلی‌مرها می‌توانند طی فرایندی معکوس به‌نام **هیدرولیز**، تجزیه شده و دوباره به مونومر تبدیل شوند. پلی‌مرهای متنوعی از مجموعهٔ کوچکی از مونومرها به‌وجود می‌آیند.

| درشت‌مولکول‌های زیستی | اجزا | مثال‌ها | عملکردها |
|---|---|---|---|
| **۵-۲** کربوهیدرات‌ها به‌عنوان مواد ساختمانی و سوختی به‌کار می‌روند. | CH₂OH, H, OH, HO, Monosaccharide monomer | **مونوساکاریدها:** گلوکز، فروکتوز | سوخت؛ منابع کربن |
| | | **دی‌ساکاریدها:** لاکتوز، ساکارز | |
| | | **پلی‌ساکاریدها:**<br>• سلولز (گیاهان)<br>• نشاسته (گیاهان)<br>• گلیکوژن (جانوران)<br>• کیتین (جانوران و قارچ‌ها) | • استحکام دیوارهٔ سلولی گیاه<br>• ذخیرهٔ گلوکز برای انرژی<br>• ذخیرهٔ گلوکز برای انرژی<br>• استحکام اسکلت خارجی و دیوارهٔ سلولی قارچ‌ها |
| **۵-۳** لیپیدها گروه متنوعی از مولکول‌های آب‌گریز هستند. | Glycerol, 3 fatty acids | **تری‌اسیل‌گلیسرول‌ها** (چربی‌ها یا روغن‌ها): گلیسرول + ۳ اسید چرب | منبع مهم انرژی |
| | Head with P, 2 fatty acids | **فسفولیپیدها:** گروه فسفات + ۲ اسید چرب | دولایه‌های لیپیدی غشاها<br>Hydrophobic tails<br>Hydrophilic heads |
| | Steroid backbone | **استروئیدها:** چهار حلقهٔ به هم متصل با گروه‌های شیمیایی متصل شده | • اجزای غشاهای سلول (کلسترول)<br>• مولکول‌های پیام‌رسانی که در بدن حرکت می‌کنند (هورمون‌ها) |
| **۵-۴** پروتئین‌ها دارای ساختارهای متعددی هستند که منجر به عملکردهای متنوع می‌شوند.<br>پروتئین‌ها متنوع‌ترین دستهٔ مولکول‌های حیاتی از نظر ساختار و عملکرد هستند. اساس این تنوع را توضیح دهید. | R, H, N, C, O, OH, Amino acid monomer (20 types) | • آنزیم‌ها<br>• پروتئین‌های ساختاری<br>• پروتئین‌های ذخیره‌ای<br>• پروتئین‌های انتقال‌دهنده<br>• هورمون‌ها<br>• پروتئین‌های گیرنده<br>• پروتئین‌های حرکتی<br>• پروتئین‌های دفاعی | • کاتالیز کردن واکنش‌های شیمیایی<br>• فراهم کردن استحکام ساختاری<br>• ذخیره کردن آمینواسیدها<br>• انتقال دادن مواد<br>• هماهنگ کردن پاسخ‌های جاندار<br>• دریافت سیگنال‌ها از خارج سلول<br>• حرکت سلول<br>• محافظت کردن در برابر بیماری |
| **۵-۵** اسیدهای نوکلئیک اطلاعات وراثتی را ذخیره کرده و انتقال می‌دهند. | Nitrogenous base, Phosphate group, P, CH₂, Sugar | DNA:<br>• قند= دئوکسی‌ریبوز<br>• بازهای نیتروژن‌دار: T،C،G،A<br>• معمولاً دورشته‌ای | ذخیره کردن اطلاعات وراثتی |
| | | RNA:<br>• قند= ریبوز<br>• بازهای نیتروژن‌دار: U،C،G،A<br>• معمولاً تک رشته‌ای | عملکردهای مختلفی طی بیان ژن دارد؛ دستورات را از DNA به ریبوزوم‌ها منتقل می‌کند |

## خود را بیازمایید

با مراجعه به سایت www.masteringbiology.com به سؤالات چند گزینه‌ای ۱ تا ۷ پاسخ دهید.

۸- جدولی طراحی کنید که موارد زیر را دربر بگیرد. ستون‌ها و ردیف‌ها را نام‌گذاری کنید.

| | | |
|---|---|---|
| پل‌های فسفودی استری | پلی‌پپتیدها | مونوساکاریدها |
| اتصالات پپتیدی | تری گلیسرول‌ها | نوکلئوتیدها |
| پل‌های گلیکوزیدی | پلی‌نوکلئوتیدها | آمینو اسیدها |
| اتصالات استری | پلی‌ساکاریدها | اسیدهای چرب |

۹- **رسم کنید** رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی شکل 26a-5 را باز نویسی کرده و بازهای G، C، T و T انتهای '5 را علامت‌گذاری کنید. با این فرض که این یک مولکول DNA است، رشتهٔ مکمل را با استفاده از علائم مشابه برای فسفات‌ها (دایره)، قندها (۵ ضلعی) و بازها رسم کنید. بازها را علامت‌گذاری کنید. پیکان‌هایی رسم کنید که جهت '3 ← '5 ('5 به '3) هر رشته را نشان دهد. از پیکان‌هایی استفاده کنید که مطمئن شوید رشتهٔ دوم در جهت ناهمسو با رشتهٔ اول قرار داشته باشد. *راهنمایی:* بعد از اینکه رشتهٔ اول را به‌صورت عمودی رسم کردید، کاغذ را سروته کنید. این روش آسان‌تر از آن است که بخواهید رشتهٔ دوم را از جهت '5 به سمت '3 و از بالا به پایین رسم کنید.

**۱۰- ارتباط تکاملی**

مقایسهٔ توالی آمینواسیدهای پروتئین‌ها منجر به آشکار شدن واگرایی تکاملی جانداران خویشاوند می‌شود. اگر شما دو گونهٔ زنده را با هم مقایسه کنید، آیا انتظار خواهید داشت که همهٔ پروتئین‌ها همان درجه از واگرایی را نشان دهند؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

۱۱. **پرسش علمی.** فرض کنید که شما یک محقق در آزمایشگاه تحقیقاتی هستید که پروتئین‌های متصل شونده به DNA را مطالعه می‌کند. به شما توالی‌های آمینواسیدی همهٔ پروتئین‌هایی که توسط گونه‌ای خاص کدگذاری شده‌اند داده شده است. از شما خواسته می‌شود تا پروتئین‌های منتخبی را پیدا کنید که می‌توانند به DNA متصل شوند. انتظار دارید که در این پروتئین‌ها چه نوع آمینو اسیدهایی یافت شوند؟ چرا؟

**۱۲- علم، فناوری و جامعه**

برخی از ورزشکاران آماتور و حرفه‌ای، استروئیدهای مصنوعی را برای حجم‌دهی ماهیچه‌های‌شان و افزایش توان آنها مصرف می‌کنند. خطرات چنین عملی به میزان زیادی ثابت شده است. جدا از بحث سلامت، شما دربارهٔ کاربرد مواد شیمیایی برای افزایش عملکرد ورزشکاران چه نظری دارید؟ آیا گمان می‌کنید که ورزشکاری که از استروئیدهای مصنوعی استفاده می‌کند متقلب است و یا اینکه چنین مواد شیمیایی برای پیروزی در یک ورزش رقابتی مورد نیاز است؟ از پاسخ خود دفاع کنید.

۱۳- **دربارهٔ موضوع مطرح شده در زیر بنویسید**

**ساختار و عملکرد.** پروتئین‌ها؛ که عملکردهای متنوعی در سلول دارند؛ پلی‌مرهایی از زیرواحدهای آمینواسیدی مشابه هستند. یک متن کوتاه ۱۰۰ تا ۱۵۰ کلمه‌ای بنویسید که در این مورد بحث کند که ساختار آمینواسیدها چگونه به این نوع پلی‌مر اجازه می‌دهد تا این همه تنوع عملکردی داشته باشد.

Figure 5.5

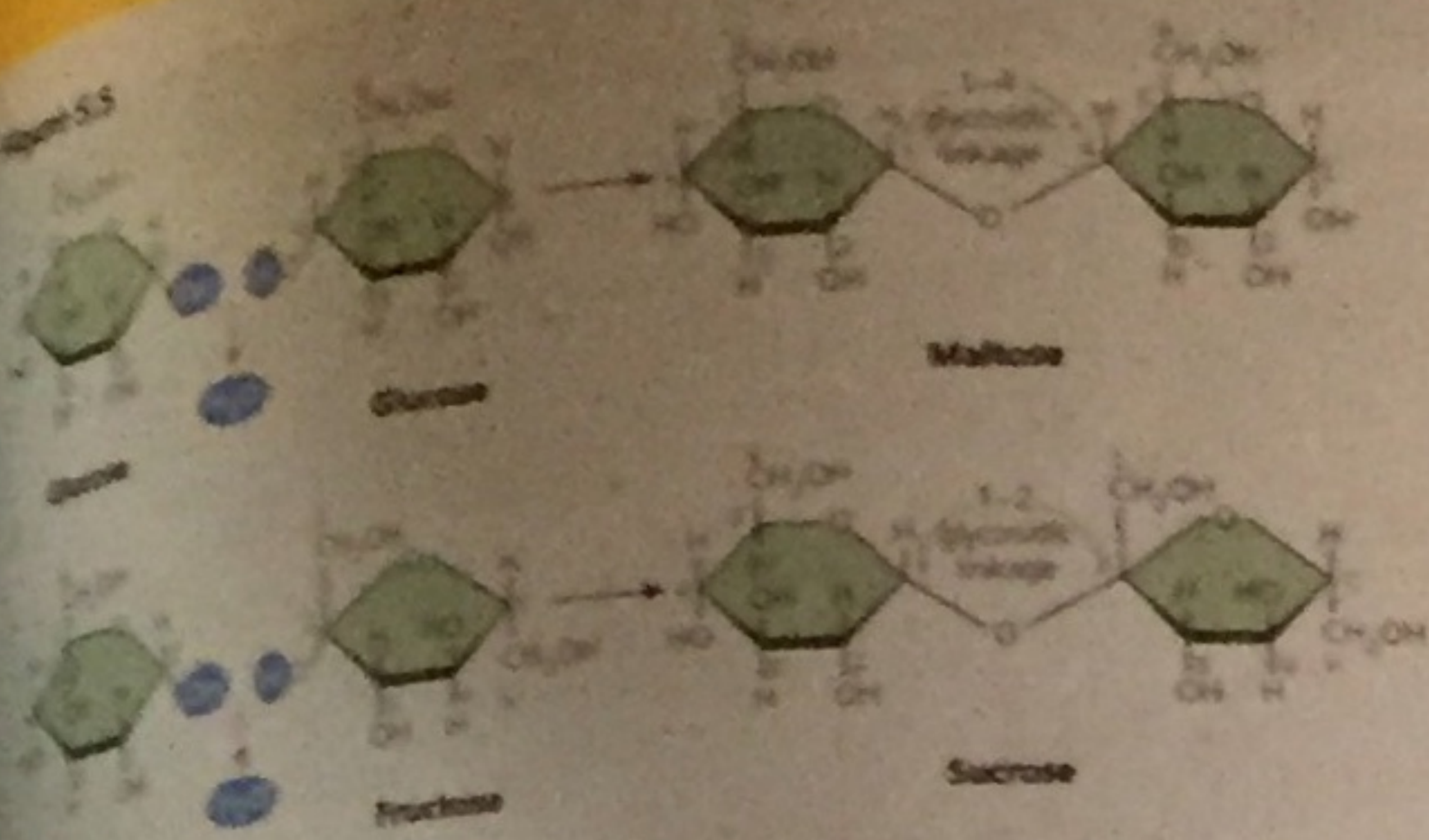



Figure 5.12

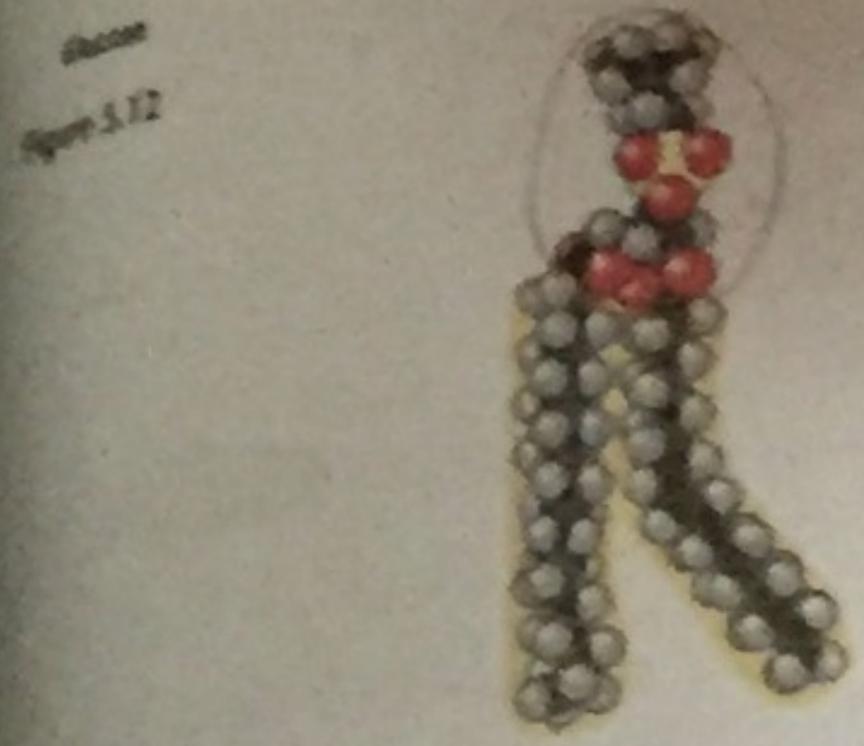


Figure 5.14

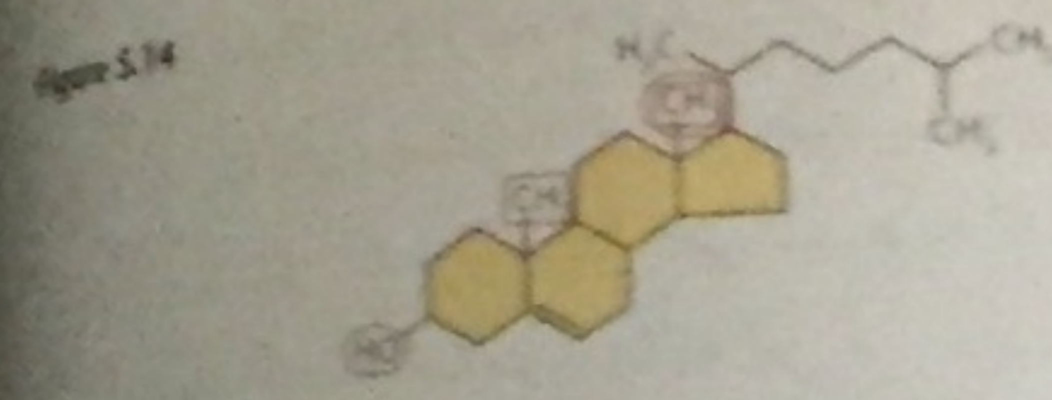


Figure 5.17

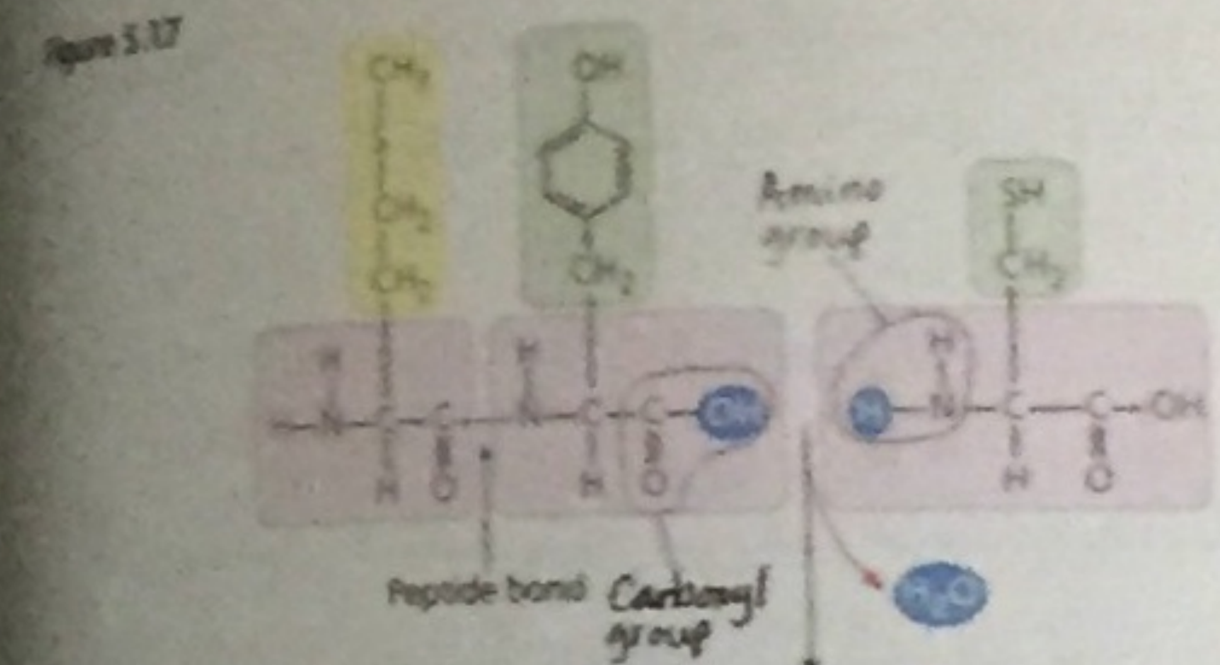



Figure 5.21 The R group on glutamic acid is acidic and hydrophilic, whereas that of valine is nonpolar and hydrophobic. Therefore, it is unlikely that valine can participate in the same intramolecular interactions that glutamic acid can. A change in these interactions causes a disruption of molecular structure.
Figure 5.24 The spirals are α helices.

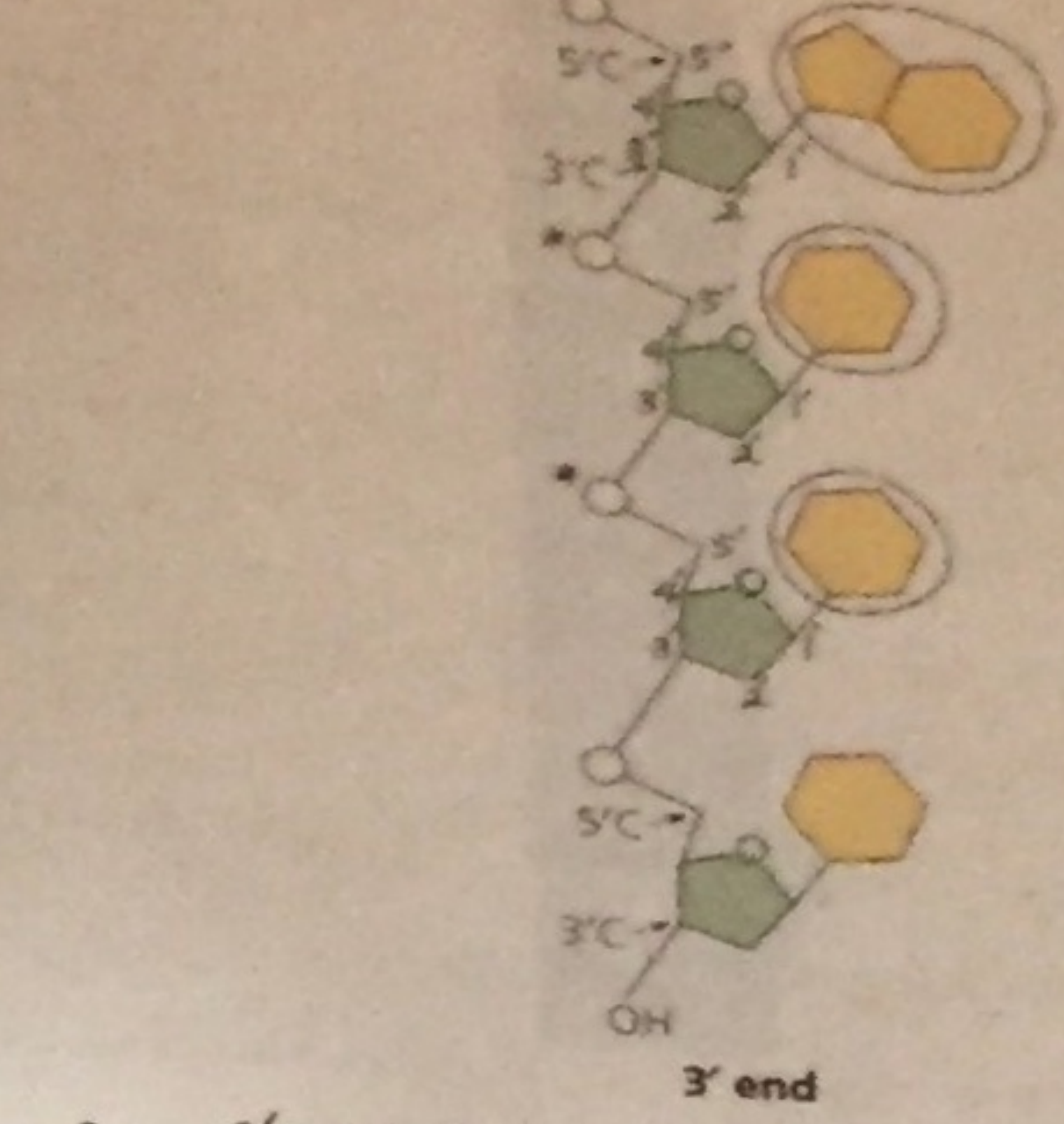
Concept Check 5.1
1. The four main classes are proteins, carbohydrates, lipids, and nucleic acids. Lipids are not polymers. 2. Nine, with one water molecule required to hydrolyze each connected pair of monomers. 3. The amino acids in the fish protein must be released in hydrolysis reactions and incorporated into other proteins in dehydration reactions.

Concept Check 5.2
1. $C_3H_6O_3$ 2. $C_{12}H_{22}O_{11}$ 3. The antibiotic treatment is likely to have killed the cellulose-digesting prokaryotes in the cow's stomach. The absence of these prokaryotes would hamper the cow's ability to obtain energy from food and could lead to weight loss and possibly death. Thus, prokaryotic species are reintroduced, in appropriate combinations, in the gut culture given to treated cows.

Concept Check 5.3
1. Both have a glycerol molecule attached to fatty acids. The glycerol of a fat has three fatty acids attached, whereas the glycerol of a phospholipid is attached to two fatty acids and one phosphate group. 2. Human sex hormones are steroids, a type of hydrophobic compound. 3. The oil droplet membrane could consist of a single layer of phospholipids rather than a bilayer, because an arrangement in which the hydrophobic tails of the membrane phospholipids were in contact with the hydrocarbon regions of the oil molecules would be more stable.

Concept Check 5.4
1. The function of a protein is a consequence of its specific shape, which is lost when a protein becomes denatured. 2. Secondary structure involves hydrogen bonds between atoms of the polypeptide backbone. Tertiary structure involves interactions between atoms of the side chains of the amino acid subunits. 3. These are all nonpolar amino acids, so you would expect this region to be located in the interior of the folded polypeptide, where it would not contact the aqueous environment inside the cell.

Concept Check 5.5
1.




2.
5′–T A G G C C T–3′
3′–A T C C G G A–5′

3. a.
Mismatch
5′–T A A G C C T–3′
3′–A T C C G G A–5′

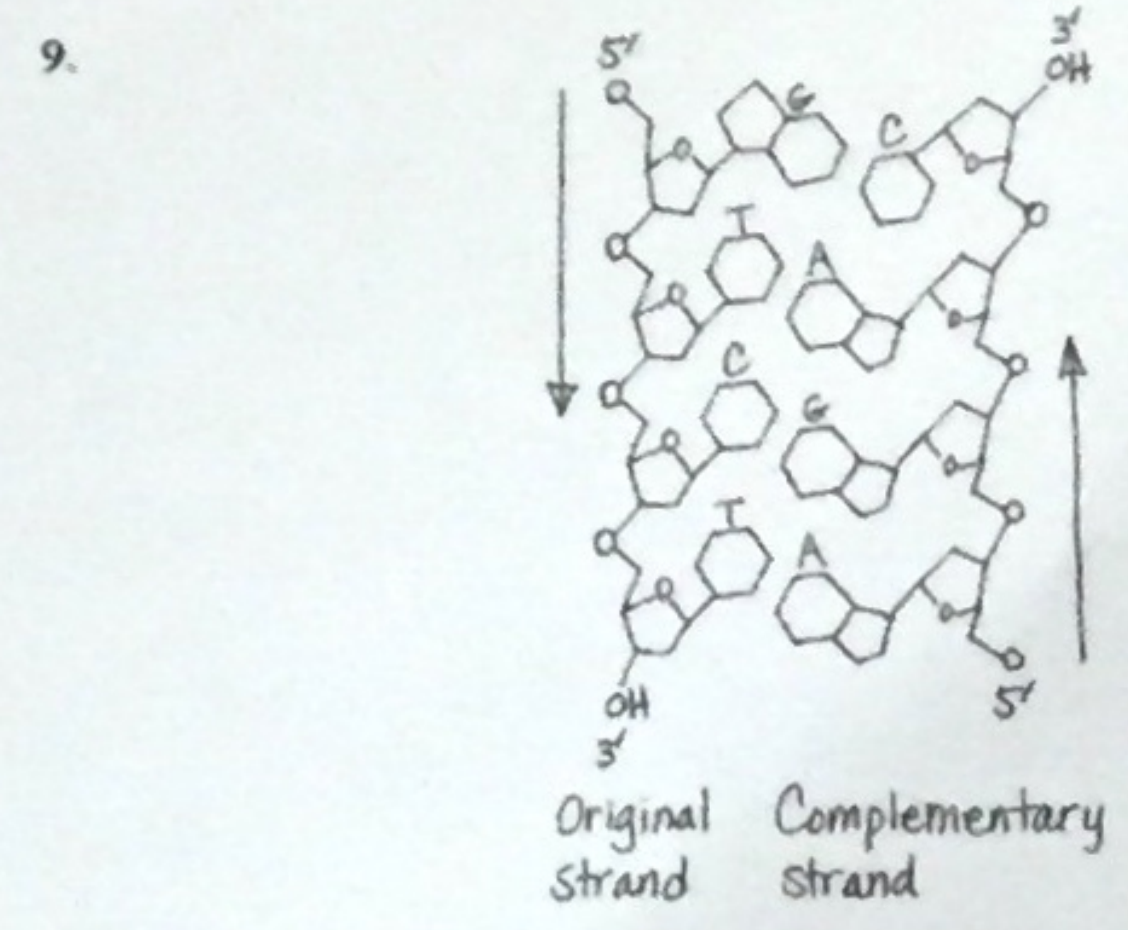
b. 3′–A T T C G G A–5′

Summary of Key Concepts Questions
**Concept 5.1** The polymers of carbohydrates, proteins, and nucleic acids are built from three different types of monomers: monosaccharides, amino acids, and nucleotides, respectively. **Concept 5.2** Both starch and cellulose are polymers of glucose, but the glucose monomers are in the α configuration in starch and the β configuration in cellulose. The glycosidic linkages thus have different geometries, giving the polymers different shapes and thus different properties. Starch is an energy-storage compound in plants; cellulose is a structural component of plant cell walls. Humans can hydrolyze starch to provide energy but cannot hydrolyze cellulose. Cellulose aids in the passage of food through the digestive tract. **Concept 5.3** Lipids are not polymers because they do not exist as a chain of linked monomers. They are not considered macromolecules because they do not reach the giant size of many polysaccharides, proteins, and nucleic acids. **Concept 5.4** A polypeptide, which may consist of hundreds of amino acids in a specific sequence (primary structure), has regions of coils and pleats (secondary structure), which are then folded into irregular contortions (tertiary structure) and may be noncovalently associated with other polypeptides (quaternary structure). The linear order of amino acids, with the varying properties of their side chains (R groups), determines what secondary and tertiary structures will form to produce a protein. The resulting unique three-dimensional shapes of proteins are key to their specific and diverse functions. **Concept 5.5** The complementary base pairing of the two strands of DNA makes possible the precise replication of DNA every time a cell divides, ensuring that genetic information is faithfully transmitted. In some types of RNA, complementary base pairing enables RNA molecules to assume specific three-dimensional shapes that facilitate diverse functions.

Test Your Understanding
8.

| | Monomers or Components | Polymer or larger molecule | Type of linkage |
|---|---|---|---|
| Carbohydrates | Monosaccharides | Polysaccharides | Glycosidic linkages |
| Lipids | Fatty acids | Triacylglycerols | Ester linkages |
| Proteins | Amino acids | Polypeptides | Peptide bonds |
| Nucleic acids | Nucleotides | Polynucleotides | Phosphodiester linkages |

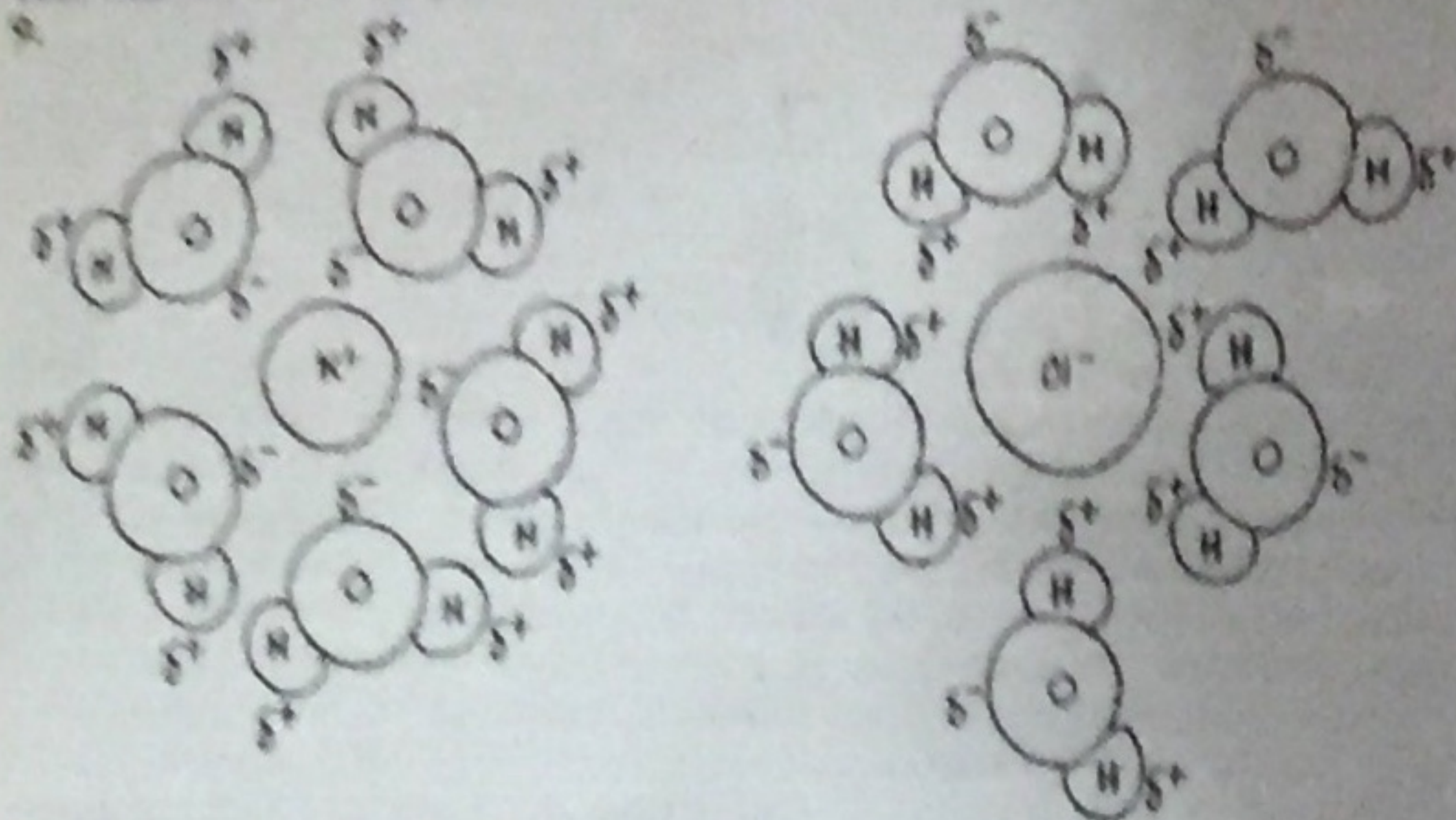
9.



with them and surround them. Solutions are homogeneous mixtures of solute and solvent. Colloids form when particles that are too large to dissolve remain suspended in a liquid. **3.3** $CO_2$ reacts with $H_2O$ to form carbonic acid ($H_2CO_3$), which dissociates into $H^+$ and bicarbonate ($HCO_3^-$). Although the carbonic acid-bicarbonate reaction is a buffering system, adding $CO_2$ drives the reaction to the right, releasing more $H^+$ and lowering pH. The excess protons combine with $CO_3^{2-}$ to form bicarbonate, lowering the concentration of carbonate available for the formation of calcium carbonate (calcification) by corals.

Test Your Understanding

**9.**




**10.** Both global warming and ocean acidification are caused by increasing levels of carbon dioxide in the atmosphere, the result of burning fossil fuels. **11.** Due to intermolecular hydrogen bonds, water has a high specific heat (the amount of heat required to increase the temperature of water by 1°C). When water is heated, much of the heat is absorbed in breaking hydrogen bonds before the water molecules increase their motion and the temperature increases. Conversely, when water is cooled, many H bonds are formed, which releases a significant amount of heat. This release of heat can provide some protection against freezing of the plants' leaves, thus protecting the cells from damage.

## Chapter 4

Figure Questions

**Figure 4.2** Because the concentration of the reactants influences the equilibrium (as discussed in Chapter 2), there might have been more HCN relative to $CH_2O$, since there would have been a higher concentration of the reactant gas containing nitrogen.

**Figure 4.4**

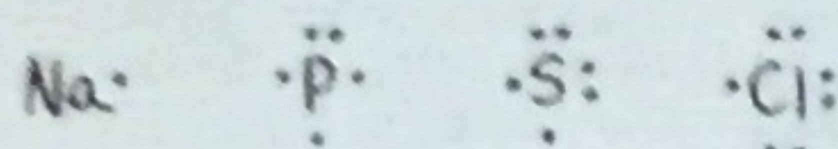



**Figure 4.6** The tails of fats contain only carbon-hydrogen bonds, which are relatively nonpolar. Because the tails occupy the bulk of a fat molecule, they make the molecule as a whole nonpolar and therefore incapable of forming hydrogen bonds with water.

**Figure 4.7**

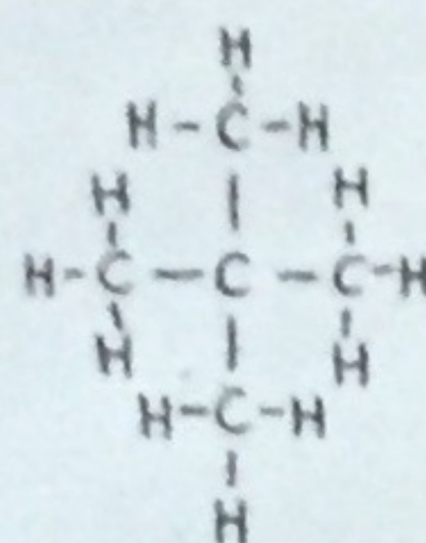


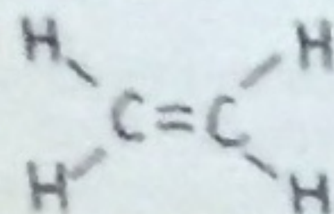
**Figure 4.9** Molecule b, because there are not only the two electronegative oxygens of the carboxyl group, but also an oxygen on the next (carbonyl) carbon. All of these oxygens help make the bond between the O and H of the —OH group more polar, thus making the dissociation of $H^+$ more likely.

Concept Check 4.1

1. Prior to Wöhler's experiment, the prevailing view was that only living organisms could synthesize "organic" compounds. Wöhler made urea, an organic compound, without the involvement of living organisms. **2.** The spark provided energy needed for the inorganic molecules in the atmosphere to react with each other. (You'll learn more about energy and chemical reactions in Chapter 8.)

Concept Check 4.2

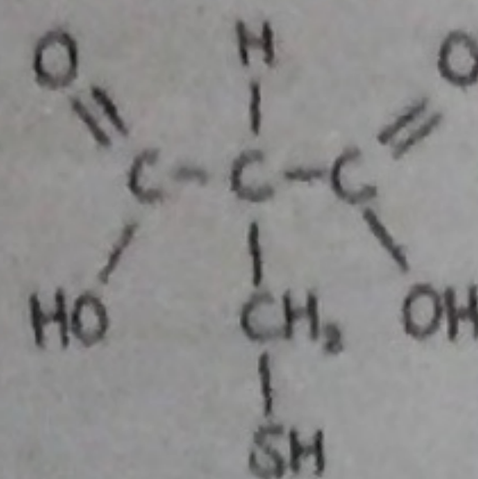
1.



**2.** The forms of $C_4H_{10}$ in (b) are structural isomers, as are the butenes in (c). **3.** Both consist largely of hydrocarbon chains. **4.** No. There is not enough diversity in the atoms. It can't form structural isomers because there is only one way for three carbons to attach to each other (in a line). There are no double bonds, so *cis-trans* isomers are not possible. Each carbon has at least two hydrogens attached to it, so the molecule is symmetrical and cannot have enantiomers.

Concept Check 4.3

1. It has both an amino group (—$NH_2$), which makes it an amine, and a carboxyl group (—COOH), which makes it a carboxylic acid. **2.** The ATP molecule loses a phosphate, becoming ADP. **3.** A chemical group that can act as a base has been replaced with a group that can act as an acid, increasing the acidic properties of the molecule. The shape of the molecule would also change, likely changing the molecules with which it can interact. The original cysteine molecule has an asymmetric carbon in the center. After replacement of the amino group with a carboxyl group, this carbon is no longer asymmetric.



Summary of Key Concepts Questions

**4.1** Miller showed that organic molecules could form under the physical and chemical conditions believed to have been present on early Earth. This abiotic synthesis of organic molecules would have been a first step in the origin of life. **4.2** Acetone and propanal are structural isomers. Acetic acid and glycine have no asymmetric carbons, whereas glycerol phosphate has one. Therefore, glycerol phosphate can exist as forms that are enantiomers, but acetic acid and glycine cannot. **4.3** The methyl group is nonpolar and not reactive. The other six groups are called functional groups. They are each hydrophilic, increasing the solubility of organic compounds in water, and can participate in chemical reactions.

Test Your Understanding

**8.** The molecule on the right; the middle carbon is asymmetric.

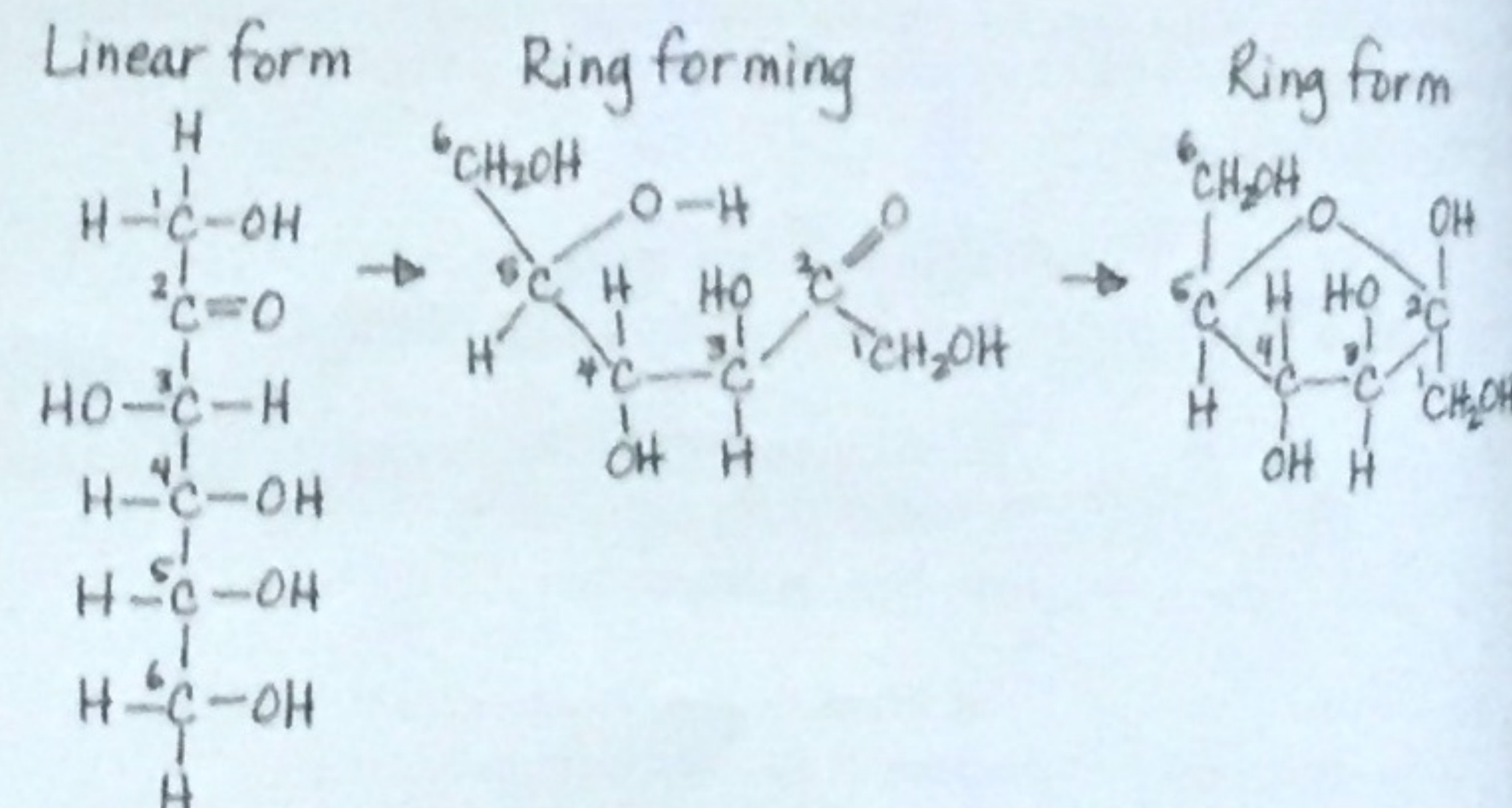
**9.** ·Si· Si has 4 valence electrons, the same number as carbon. Therefore, silicon would be able to form long chains, including branches, that could act as skeletons for large molecules. It would clearly do this much better than neon (with no valence electrons) or aluminum (with 3 valence electrons).

## Chapter 5

Figure Questions

**Figure 5.3** Glucose and fructose are structural isomers.

**Figure 5.4**




Note that the oxygen on carbon 5 lost its proton and that the oxygen on carbon 2, which used to be the carbonyl oxygen, gained a proton. Four carbons are in the fructose ring, and two are not. (The latter two carbons are attached to carbons 2 and 5, which are in the ring.) The fructose ring differs from the glucose ring, which has five carbons in the ring and one that is not. (Note that the orientation of this fructose molecule is flipped relative to that of the one in Figure 5.5b.)

producing most. Over many generations, this probably led to the serpentine-
adapted species we see today.

Concept Check 2.2

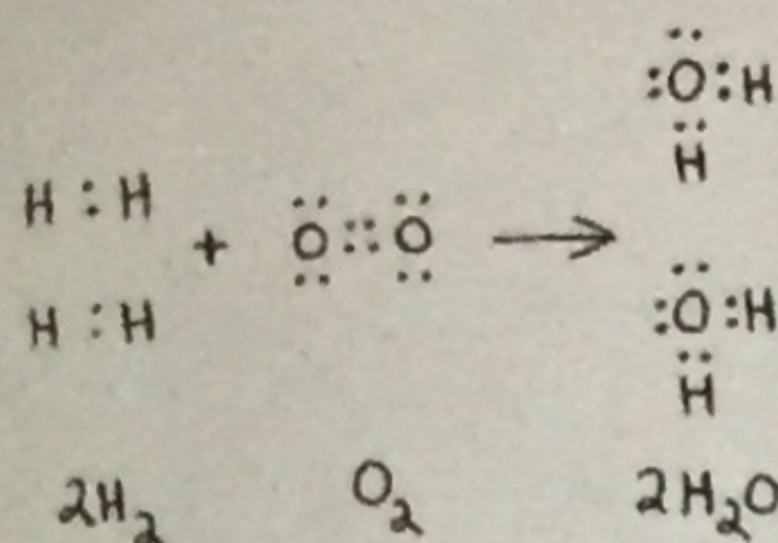
1. 7 2. $^{15}_{7}N$ 3. 9 electrons; two electron shells; 1*s*, 2*s*, 2*p* (three orbitals); 1 electron needed to fill the valence shell. 4. The elements in a row all have the same number of electron shells. In a column, all the elements have the same number of electrons in their valence shells.

Concept Check 2.3

1. Each carbon atom has only three covalent bonds instead of the required four. 2. The attraction between oppositely charged ions, forming ionic bonds 3. If you could synthesize molecules that mimic these shapes, you might be able to treat diseases or conditions caused by the inability of affected individuals to synthesize such molecules.

Concept Check 2.4

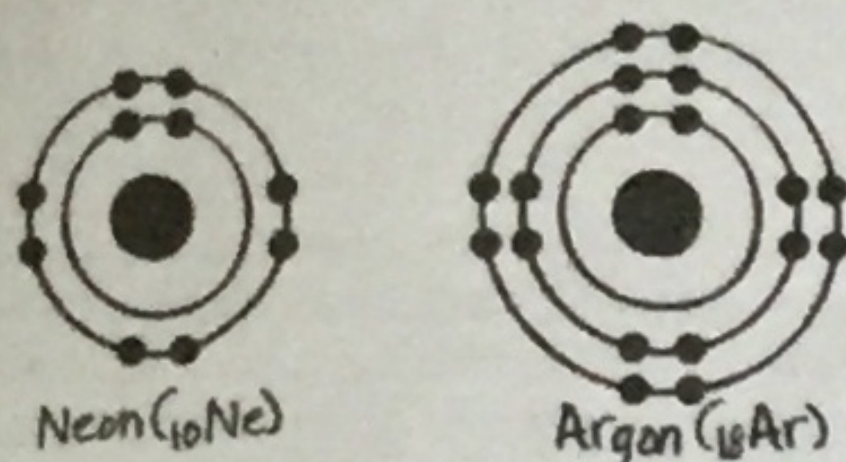
1.




2. At equilibrium, the forward and reverse reactions occur at the same rate.
3. $C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O$ + Energy. Glucose and oxygen react to form carbon dioxide and water, releasing energy. We breathe in oxygen because we need it for this reaction to occur, and we breathe out carbon dioxide because it is a by-product of this reaction. (This reaction is called cellular respiration, and you will learn more about it in Chapter 9.)

Summary of Key Concepts Questions

2.1 Iodine (part of a thyroid hormone) and iron (part of hemoglobin in blood) are both trace elements, required in minute quantities. Calcium and phosphorus (components of bones and teeth) are needed by the body in much greater quantities.
2.2




Both neon and argon have completed valence shells, containing 8 electrons. They do not have unpaired electrons that could participate in chemical bonds. 2.3 Electrons are shared equally between the two atoms in a nonpolar covalent bond. In a polar covalent bond, the electrons are drawn closer to the more electronegative atom. In the formation of ions, an electron is completely transferred from one atom to a much more electronegative atom. 2.4 The concentration of products would increase as the added reactants were converted to products. Eventually, an equilibrium would again be reached in which the forward and reverse reactions were proceeding at the same rate and the relative concentrations of reactants and products returned to where they were before the addition of more reactants.

Test Your Understanding

9.

a. Ö::C:H This structure doesn't make sense because the valence shell of carbon is incomplete; carbon can form 4 bonds.

b. H:Ö:C:C::Ö (with H's above and below) This structure makes sense because all valence shells are complete, and all bonds have the correct number of electrons.

c. H:C:H.C::Ö (with H's) This structure doesn't make sense because H has only 1 electron to share, so it cannot form bonds with 2 atoms.

d. This structure doesn't make sense for several reasons:
:O: The valence shell of oxygen is incomplete; oxygen can form 2 bonds.
H:N..H H has only 1 electron to share, so it cannot form a double bond.
Nitrogen usually makes only 3 bonds. It does not have enough electrons to make 2 single bonds, make a double bond, and complete its valence shell.

## Chapter 3

Figure Questions

**Figure 3.2** One possible answer:

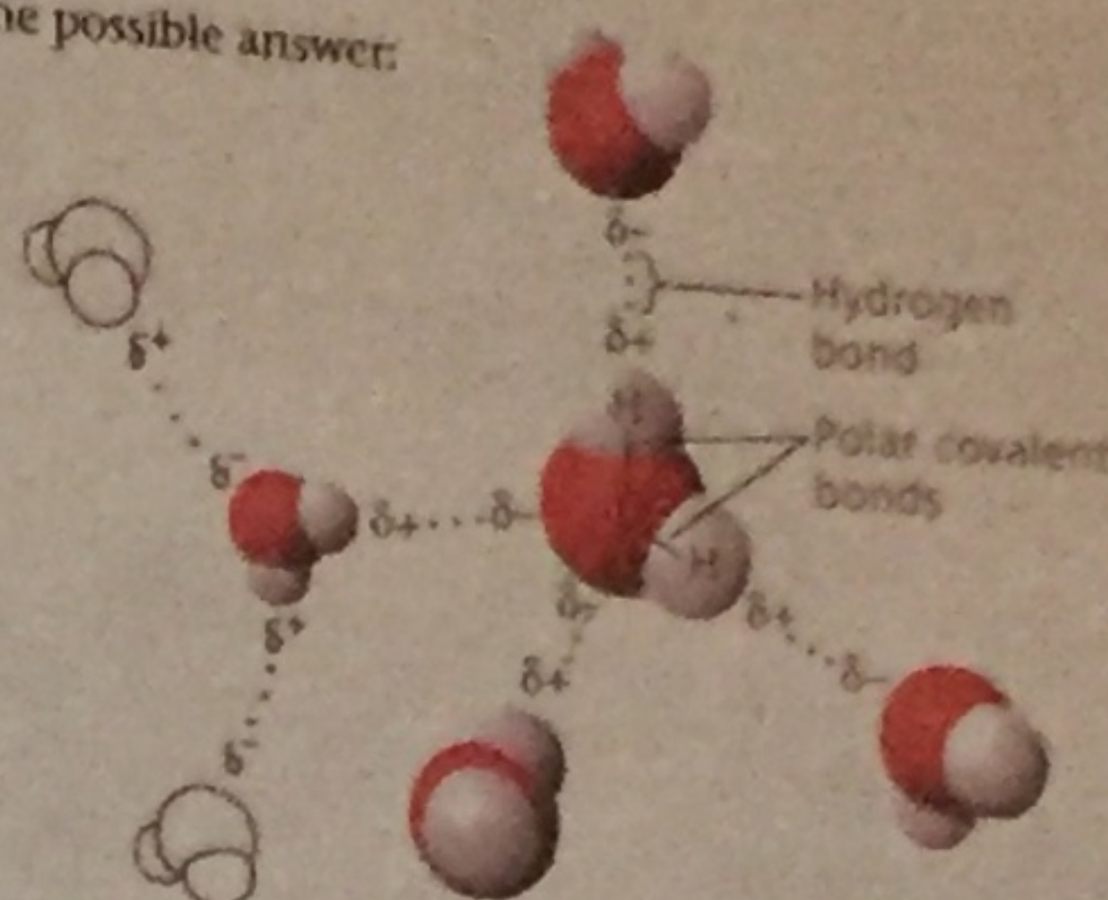



**Figure 3.6** Without hydrogen bonds, water would behave like other small molecules, and the solid phase (ice) would be denser than liquid water. The ice would sink to the bottom and would no longer insulate the whole body of water, which would eventually freeze because the average annual temperature at the South Pole is –50°C. The krill could not survive. **Figure 3.7** Heating the solution would cause the water to evaporate faster than it is evaporating at room temperature. At a certain point, there wouldn't be enough water molecules to dissolve the salt ions. The salt would start coming out of solution and re-forming crystals. Eventually, all the water would evaporate, leaving behind a pile of salt like the original pile. **Figure 3.12** By causing the loss of coral reefs, a decrease in the ocean's carbonate concentration would have a ripple effect on noncalcifying organisms. Some of these organisms depend on the reef structure for protection, while others feed on species associated with reefs.

Concept Check 3.1

1. Electronegativity is the attraction of an atom for the electrons of a covalent bond. Because oxygen is more electronegative than hydrogen, the oxygen atom in $H_2O$ pulls electrons toward itself, resulting in a partial negative charge on the oxygen atom and partial positive charges on the hydrogen atoms. Atoms in neighboring water molecules with opposite partial charges are attracted to each other, forming a hydrogen bond. 2. The hydrogen atoms of one molecule, with their partial positive charges, would repel the hydrogen atoms of the adjacent molecule. 3. The covalent bonds of water molecules would not be polar, and water molecules would not form hydrogen bonds with each other.

Concept Check 3.2

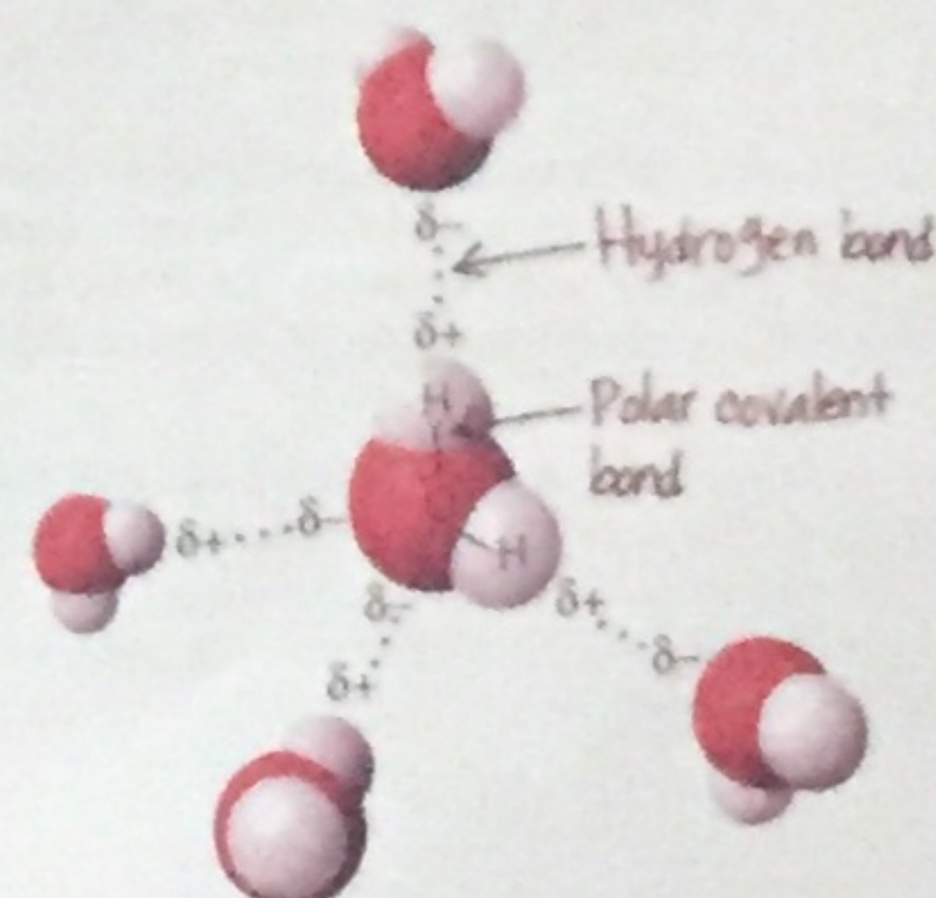
1. Hydrogen bonds hold neighboring water molecules together. This cohesion helps the chain of water molecules move upward against gravity in water-conducting cells as water evaporates from the leaves. Adhesion between water molecules and the walls of the water-conducting cells also helps counter gravity. 2. High humidity hampers cooling by suppressing the evaporation of sweat. 3. As water freezes, it expands because water molecules move farther apart in forming ice crystals. When there is water in a crevice of a boulder, expansion due to freezing may crack the boulder. 4. A liter of blood would contain $7.8 \times 10^{13}$ molecules of ghrelin ($1.3 \times 10^{-10}$ moles per liter $\times$ $6.02 \times 10^{23}$ molecules per mole). 5. The hydrophobic substance repels water, perhaps helping to keep the ends of the legs from becoming coated with water and breaking through the surface. If the legs were coated with a hydrophilic substance, water would be drawn up them, possibly making it more difficult for the water strider to walk on water.

Concept Check 3.3

1. $10^5$, or 100,000 2. $[H^+] = 0.01\ M = 10^{-2}\ M$, so pH = 2. 3. $CH_3COOH \rightarrow CH_3COO^- + H^+$. $CH_3COOH$ is the acid (the $H^+$ donor), and $CH_3COO^-$ is the base (the $H^+$ acceptor). 4. The pH of the water should decrease from 7 to about 2; the pH of the acetic acid solution will decrease only a small amount, because the reaction shown for question 3 will shift to the left, with $CH_3COO^-$ accepting the influx of $H^+$ and becoming $CH_3COOH$ molecules.

Summary of Key Concepts Questions

3.1




Each water molecule can make four hydrogen bonds with neighboring molecules. 3.2 Ions dissolve in water when polar water molecules form a hydration shell around them. Polar molecules dissolve as water molecules form hydrogen bonds

توجه: برای این که دسترسی شما عزیزان به پاسخ سوالات سخت‌تر شود و با اصطلاحات زبان انگلیسی آشناتر شوید تصمیم گرفتیم پاسخ‌ها را ترجمه نکنیم!

با آرزوی موفقیت شما

## Chapter 1

### Figure Questions

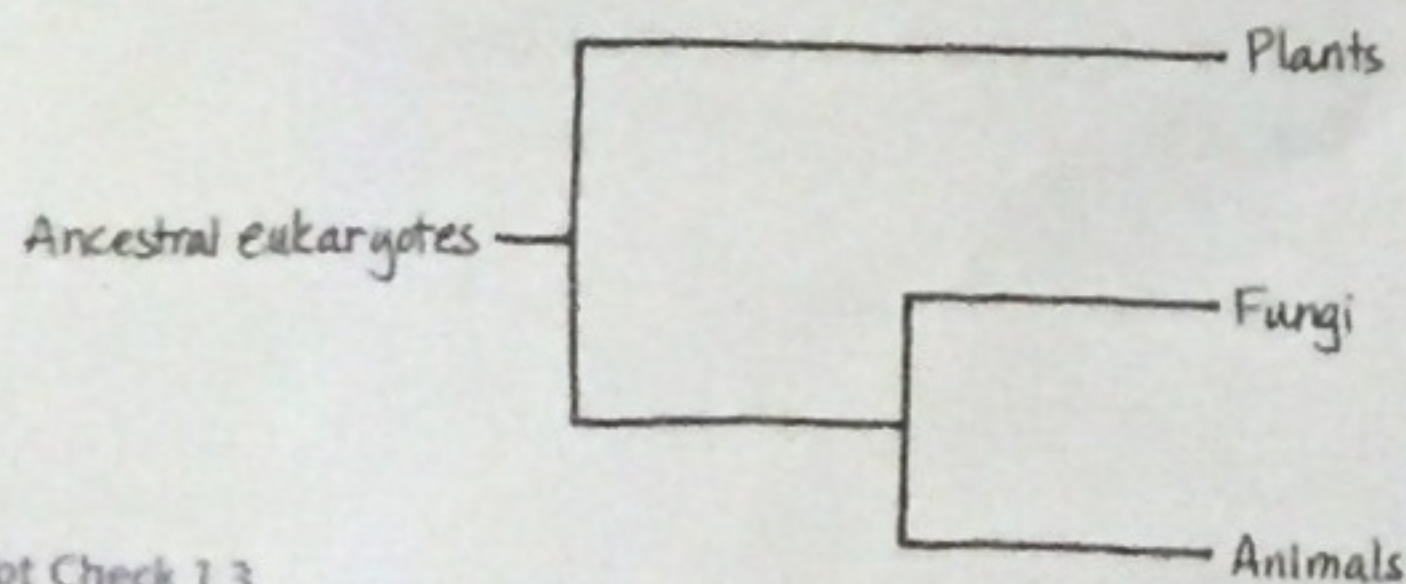
**Figure 1.7** The arrangement of fingers and opposable thumb in the human hand, combined with fingernails and a complex system of nerves and muscles, allows the hand to grasp and manipulate objects with great dexterity. **Figure 1.13** Substance B would be made continuously and would accumulate in large amounts. Neither C nor D would be made, so D would not be able to inhibit enzyme 1 and regulate the pathway. **Figure 1.27** The percentage of brown artificial snakes attacked would probably be higher than the percentage of artificial kingsnakes attacked in all areas (whether or not inhabited by coral snakes).

### Concept Check 1.1

1. Examples: A molecule consists of *atoms* bonded together. Each organelle has an orderly arrangement of *molecules*. Photosynthetic plant cells contain *organelles* called chloroplasts. A tissue consists of a group of similar *cells*. Organs such as the heart are constructed from several *tissues*. A complex *multicellular organism*, such as a plant, has several types of *organs*, such as leaves and roots. A population is a set of *organisms* of the same species. A community consists of *populations* of the various species inhabiting a specific area. An ecosystem consists of a biological *community* along with the nonliving factors important to life, such as air, soil, and water. The biosphere is made up of all of Earth's *ecosystems*. 2. (a) Structure and function are correlated. (b) Cells are an organism's basic units, *and* the continuity of life is based on heritable information in the form of DNA. (c) Organisms interact with other organisms and with the physical environment, *and* life requires energy transfer and transformation. 3. Some possible answers: *Emergent properties*: The ability of a human heart to pump blood requires an intact heart; it is not a capability of any of the heart's tissues or cells working alone. *Environmental interactions*: A mouse eats food, such as nuts or grasses, and deposits some of the food material as feces and urine. Construction of a nest rearranges the physical environment and may hasten degradation of some of its components. The mouse may also act as food for a predator. *Energy transfer*: A plant, such as a grass, absorbs energy from the sun and transforms it into molecules that act as stored fuel. Animals can eat parts of the plant and use the food for energy to carry out their activities. *Structure and function*: The strong, sharp teeth of a wolf are well suited to grasping and dismembering its prey. *The cellular basis of life*: The digestion of food is made possible by chemicals (chiefly enzymes) made by cells of the digestive tract. *The genetic basis of life*: Human eye color is determined by the combination of genes inherited from the two parents. *Feedback regulation*: When your stomach is full, it signals your brain to decrease your appetite. *Evolution*: All plants have chloroplasts, indicating their descent from a common ancestor.

### Concept Check 1.2

1. An address pinpoints a location by tracking from broader to narrower categories—a state, city, zip, street, and building number. This is analogous to the groups-subordinate-to-groups structure of biological taxonomy. 2. The naturally occurring heritable variation in a population is "edited" by natural selection because individuals with heritable traits better suited to the environment survive and reproduce more successfully than others. Over time, better-suited individuals persist and their percentage in the population increases, while less suited individuals become less prevalent—a type of population editing.
3.




### Concept Check 1.3

1. Inductive reasoning derives generalizations from specific cases; deductive reasoning predicts specific outcomes from general premises. 2. The coloration pattern on the snakes 3. Compared to a hypothesis, a scientific theory is usually more general and substantiated by a much greater amount of evidence. Natural selection is an explanatory idea that applies to all kinds of organisms and is supported by vast amounts of evidence of various kinds. 4. Based on the results shown in Figure 1.27, you might predict that the colorful artificial snakes would be attacked more often than the brown ones, simply because they are easier to see. This prediction assumes that the area in Virginia where you are working has predators that attack snakes but no poisonous snakes that resemble the colorful artificial snakes.

### Concept Check 1.4

1. Science aims to understand natural phenomena and how they work, while technology involves application of scientific discoveries for a particular purpose or to solve a specific problem. 2. Natural selection could be operating. Malaria is present in sub-Saharan Africa, so there might be an advantage to people with the sickle-cell disease form of the gene that makes them more able to survive and pass on their genes to offspring. Among those of African descent living in the United States, where malaria is absent, there would be no advantage, so this would be selected against more strongly, resulting in fewer individuals with the sickle-cell disease form of the gene.

### Summary of Key Concepts Questions

1.1 Evolution explains the most fundamental aspects of all life on Earth. It accounts for the common features shared by all forms of life due to descent from a common ancestor, while also providing an explanation for how the great diversity of living organisms on the planet has arisen. 1.2 Ancestors of the plant may have exhibited variation in how well their leaves conserved water. Because not much soil is present in the crevices where these plants are found, the plants that could conserve water may have survived better and been able to produce more offspring. Over time, a higher and higher proportion of individuals in the population would have had the adaptation of thick, water-conserving leaves. 1.3 Inductive reasoning is used in forming hypotheses, while deductive reasoning leads to predictions that are used to test hypotheses. 1.4 Different approaches taken by scientists studying natural phenomena at different levels complement each other, so more is learned about each problem being studied. A diversity of backgrounds among scientists may lead to fruitful ideas in the same way that important innovations have often arisen where a mix of cultures coexist.

### Test Your Understanding

11. Your figure should show: (1) For the biosphere, the Earth with an arrow coming out of a tropical ocean; (2) for the ecosystem, a distant view of a coral reef; (3) for the community, a collection of reef animals and algae, with corals, fishes, some seaweed, and any other organisms you can think of; (4) for the population, a group of fish of the same species; (5) for the organism, one fish from your population; (6) for the organ, the fish's stomach, and for the organ system, the whole digestive tract (see Chapter 41 for help); (7) for a tissue, a group of similar cells from the stomach; (8) for a cell, one cell from the tissue, showing its nucleus and a few other organelles; (9) for an organelle, the nucleus, where most of the cell's DNA is located; and (10) for a molecule, a DNA double helix. Your sketches can be very rough!

## Chapter 2

### Figure Questions

**Figure 2.2** The most significant difference in the results would be that the two *Cedrela* saplings inside each garden would show similar amounts of dying leaf tissue because a poisonous chemical released from the *Duroia* trees would presumably reach the saplings via the air or soil and would not be blocked by the insect barrier. The *Cedrela* saplings planted outside the gardens would not show damage unless *Duroia* trees were nearby. Also, any ants present on the unprotected *Cedrela* saplings inside the gardens would probably not be observed making injections into the leaves. However, formic acid would likely still be found in the ants' glands, as it is for most species of ants. **Figure 2.9** Atomic number = 12; 12 protons, 12 electrons; 3 electron shells; 2 valence electrons **Figure 2.16** One possible answer:

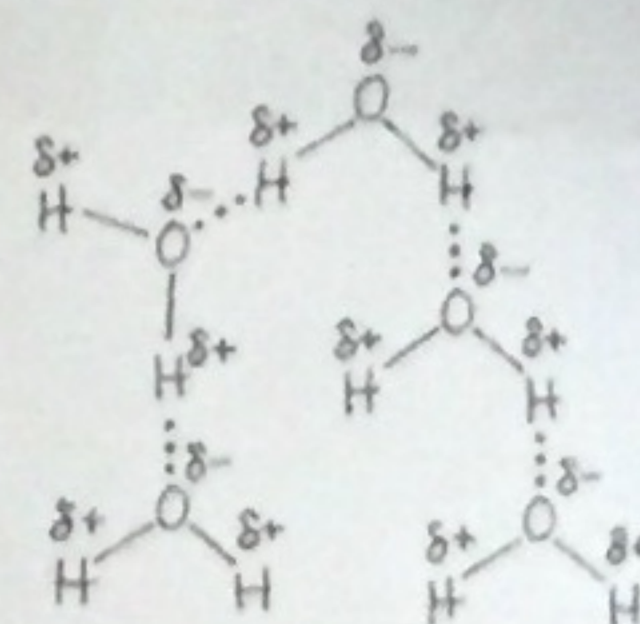


**Figure 2.19** The plant is submerged in water ($H_2O$), in which the $CO_2$ is dissolved. The sun's energy is used to make sugar, which is found in the plant and can act as food for the plant itself, as well as for animals that eat the plant. The oxygen ($O_2$) is present in the bubbles.

### Concept Check 2.1

1. Table salt (sodium chloride) is made up of sodium and chlorine. We are able to eat the compound, showing that it has different properties from those of a metal (sodium) and a poisonous gas (chlorine). 2. Yes, because an organism requires trace elements, even though only in small amounts 3. A person with an iron deficiency will probably show fatigue and other effects of a low oxygen level in the blood. (The condition is called anemia and can also result from too few red blood cells or abnormal hemoglobin.) 4. Variant ancestral plants that could tolerate the toxic elements could grow and reproduce in serpentine soils. (Plants that were well adapted to nonserpentine soils would not be expected to survive in serpentine areas.) The offspring of the variants would also vary, with those most capable of thriving under serpentine conditions growing best and

CAMPBELL

# BIOLOGY

NINTH EDITION

REECE • URRY • CAIN
WASSERMAN • MINORSKY • JACKSON











